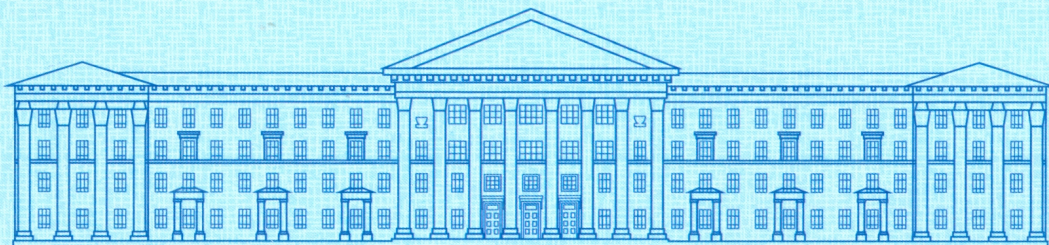




ISSN 2307-3489 (Print)
ISSN 2307-6666 (Online)



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

№ 2(74)

.. 2018 ..

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Науковий журнал

№ 2 (74) 2018

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

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

Дніпро

2018

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

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

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

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ (УКРАЇНА):

Афанасов А. М., Банніков Д. О., Бараш Ю. С., Біляєв М. М., Бобирь Д. В., Бобровський В. І., Боднар Б. Є., Босов А. А., Вакуленко І. О., Власова Т. І., Волкова В. Є., Габринєць В. О., Гаврилюк В. І., Гетьман Г. К., Главацький К. Ц., Гненний О. М., Головова 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., 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., Шинкаренко В. І., Штапенко Е. П., Яришкіна Л. О.

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Анісімов П. С. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Бялонь А. (Інститут залізничного транспорту, Варшава, Республіка Польща); Вайчунас Г. (Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса, Литва); Васяк І. (Інститут електроенергетики Лодзинської політехніки, Республіка Польща); Гусєв Б. В. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Долежел І. (Університет Західної Богемії, Чеська Республіка); Зіммер К. (Інститут Електротехніки Варшавської політехніки, Республіка Польща); Куанишев Б. М. (Казахська академія транспорту і комунікацій, Республіка Казахстан); Лінгайтис В. Л. (Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса, Литва); Манашкін Л. А. («ALGAE ENERGY SOLUTION, LLC», США); Сладковські А. (Сілезька політехніка, Республіка Польща); Стржеleckькі 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 Ulrichweb™
Global Serials Directory, OCLC WorldCat; наукометричних системах Google Scholar,
DOAJ, Index Copernicus та ін.
Друкується за рішенням вченої ради університету від 03.05.2018 р., протокол № 9

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

Адреса засновника вул. Лазаряна, 2, кім. 267, Дніпро, 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», (ISSN 1993-9175);
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

Научный журнал

№ 2 (74) 2018

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

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

Днепро

2018

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

*ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО
СОВЕТА УНИВЕРСИТЕТА*

Пшинько А. Н., доктор технических наук

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА

Мямлин С. В., доктор технических наук

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Козаченко Д. Н., доктор технических наук

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Колесникова Т. А., кандидат наук
по социальным коммуникациям

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ (УКРАИНА):

Афанасов А. М., Банников Д. О., Бараш Ю. С., Беляев Н. Н., Бобырь Д. В., Бобровский В. И., Боднарь Б. Е., Босов А. А., Вакуленко И. А., Власова Т. И., Волкова В. Е., Габринец В. А., Гаврилюк В. И., Гетьман Г. К., Главацкий К. Ц., Гненный О. Н., Головкова Л. С., Гончаров К. В., Горобец В. Л., Доценко Е. Н., Дудкина В. В., Жуковицкий И. В., Заблудовский В. А., Казакевич М. И., Капица М. И., Копытко В. И., Костин Н. А., Кравец В. В., Краснюк А. В., Кривчик Г. Г., Кузнецов В. Г., Курган Н. Б., Муха А. М., 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., Шинкаренко В. И., Штапенко Э. Ф., Эйтулис Г. Д., Яришкина Л. А.

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

Журнал
зарегистрирован

Государственной регистрационной службой Министерства юстиции Украины.
Свидетельство о регистрации КВ № 19609-9409ПР от 29.12.2012 г.
Издание внесено в Перечень научных специализированных изданий Украины приказом Министерства образования и науки Украины 29.12.2014 г. № 1528 (технические науки).
Журнал зарегистрирован: в международных каталогах периодических изданий Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; наукометрических системах Google Scholar, DOAJ, Index Copernicus и др.
Печатается по решению ученого совета университета от 03.05.2018 г., протокол № 9

Издатель

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

Адрес
учредителя

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

Издание публикуется с 1936 г.:

1936–1993 гг. – «Труды Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта»;
1993–2002 гг. – «Збірник наукових праць Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту» (за серіями);
2003–2012 гг. – «Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна», (ISSN 1993-9175);
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

Scientific journal

No. 2 (74) 2018

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

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

Dnipro
2018

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., 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., Shynkarenko V. I., Skalozub V. V., Snizhko L. O., Ursulyak L. V., Vakulenko I. O., Vlasova T. I., Volkova V. Ye., Yarishkina L. O., Zabludovskiy V. O., Zhukovytsky I. V.

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

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

Journal was registered	by the State Registration Service of the Ministry of Justice of Ukraine. Certificate of Registration KB no.19609-9409PR from 29.12.2012 Edition is included in the list of scientific professional publications of Ukraine by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine 29.12.2014 г. no. 1528 (technical sciences). Journal is registered: in the International Catalogue of periodicals Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; research and metric systems Google Scholar, DOAJ, Index Copernicus, etc. Published according to the Academic Council decision of the University from 03.05.2018, Protocol no. 9
Publisher	Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipro) Certificate of Publisher ДК no. 1315 from 31.03.2003
Address of Founder	St. Lazaryana, 2, room 267, Dnipro, 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», (ISSN 1993-9175),
since 2013 – «Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна»

ЭКОЛОГИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

УДК 628.31.034.2

Л. Ф. ДОЛИНА^{1*}, Т. П. РЕШЕТНЯК^{2*}

^{1*}Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-6082-7091

^{2*}Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (099) 985 87 75, эл. почта t.p.reshetnyak@ukr.net, ORCID 0000-0002-4223-5348

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИРОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Цель. В работе необходимо изучить влияние вида гальванопары (времени обработки и других факторов) на удаление масла, синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), хрома и т. п. из отработанных технологических растворов, применяемых при металлообработке. Представить обзор технологий очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, основанных на физико-химических процессах. **Методика.** Для восстановления шестивалентного хрома до трехвалентного было принято решение использовать существующий усреднитель кислотнощелочных стоков в качестве своеобразного гальванокоагулятора, для чего в него засыпались железная стружка и коксовая крошка. **Результаты.** Исследованы сточные воды электротехнической промышленности и освещены сорбционные методы их очистки с применением коагулянтов, ионного обмена. Рассмотрен новый гальванокоагуляционный способ очистки от ионов ТМ (мышьяка, хрома, цветных металлов), а также нефтепродуктов и растворенных в воде органических веществ. Приведены допустимые величины показателей качества сточных вод и воды водоемов. Дана классификация групп тяжелых металлов по степени токсичного воздействия. Рассмотрено их влияние на организм человека. Применение реактора «ЛОТОС» в технологическом процессе очистки гальваносточков позволяет: обрабатывать их в едином потоке, отказаться от специальных реагентов для очистки стоков от шестивалентного хрома и цианидов, исключить необходимость подкисления стоков, уменьшить использование щелочных реагентов вплоть до полного отказа от них, сократить количество оборудования и численность производственного персонала, основной функцией которого является очистка растворов, содержащих до 1 г/дм³ шестивалентного хрома. Реактор состоит из унифицированных модулей, смонтированных в едином каркасе. **Научная новизна.** На основании экспериментальной научно-исследовательской работы была установлена принципиальная возможность обезвреживания всех исследованных жидкостей методом гальванокоагуляции. Способ заключается в контакте сточных вод одновременно с медной и стальной стружкой (скрапом) без использования внешнего источника электрического тока. **Практическая значимость.** В статье рассматриваются актуальные вопросы очистки сточных вод от солей тяжелых металлов, которая необходима в санитарно-экологических целях. Предлагаются современные энергосберегающие и малоэнергоёмкие несложные методы, такие как метод гальванотехники. Современная установка широко применяется в промышленности, гальванотехнике и в метизном производстве. Описанные методы имеют ряд положительных свойств в экономическом и энергетическом отношении. Соли тяжелых металлов являются опасными загрязнителями как сточных, так и питьевых вод. Поэтому очистка вод является очень важной проблемой в области экологии нашей страны и за рубежом. Эффект очистки достигается в пределах 95...98 %.

Ключевые слова: ионы; тяжелые металлы; гальванокоагуляция; сточные воды; гальванопара

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Введение

В статье рассматриваются актуальные вопросы очистки сточных вод от солей тяжелых металлов. Очистка необходима в санитарно-экологических целях. Предлагаются современные энергосберегающие и малоэнергоёмкие не сложные методы, такие, как метод гальванотехники. Эффект очистки достигается 95...98 %.

Опасность загрязнения среды тяжелыми металлами объясняется тем, что они вечны (ибо в отличие от органических загрязнителей) они не разрушаются, а лишь переходят из одной формы существования в другую, в частности, входят в состав солей, оксидов, металлоорганических соединений, хелатов и др.

К «тяжелым» металлам (ТМ) относят более 40 химических элементов периодической системы с атомными массами свыше 50 а.е.м. иногда ТМ называют элементы, которые имеют плотность больше $7...8 \text{ тыс. кг м}^{-3}$ (кроме благородных и редких). Оба определения условны, и перечни ТМ по этим формальным признакам не совпадают. И хотя термин «тяжелые металлы» неудачен – им приходится пользоваться, так как он прочно вошел в экологическую литературу. Группа элементов, обозначаемых ТМ, активно участвуют в биологических процессах, многие из них входят в состав ферментов. Набор «тяжелых металлов» во многом совпадает с перечнем «микроэлементов». Под микроэлементами подразумеваются такие химические элементы, облигатные (обязательные) для растительных и живых организмов, содержание которых измеряется величинами порядка $n \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-5} \%$.

К числу тяжелых металлов относят хром (Cr), марганец (Mn), железо (Fe), кобальт (Co), никель (Ni), медь (Cu), цинк (Zn), галлий (Ga), германий (Ge), молибден (Mo), кадмий (Cd), олово (Sn), сурьму (Sb), теллур (Te), вольфрам (W), ртуть (Hg), таллий (Tl), свинец (Pb), висмут (Bi).

Употребляемый иногда реактор, основной функцией которого является очищение растворов, содержащих до 1 г/дм^3 шестивалентного хрома, состоит из унифицированных модулей, смонтированных в едином каркасе.

На основании научно-исследовательской работы была установлена принципиальная воз-

можность обезвреживания исследуемых жидкостей методом гальванокоагуляции. Этот метод заключается в контакте сточных вод одновременно с медной и железной стружкой (скрапом) без использования внешнего источника тока. Эффект очищения по методу гальванотехники достигает 95...98 % [18].

Гальваническое производство является одним из крупнейших потребителей воды, а его сточные воды – одними из самых токсичных и вредных.

Гальванотехника – процесс получения на поверхности изделия или основы (формы) слоев металлов из растворов их солей под действием постоянного электрического тока. Сущность метода заключается в погружении покрываемых изделий в водный раствор электролита, главным компонентом которого являются соли или другие растворимые соединения – металлопокрытия.

К этим предприятиям относятся заводы электромашиностроения, аппаратостроения, трансформаторостроения, конденсаторостроения, химических (аккумуляторных) источников тока и электроизоляционных материалов.

Цель

Изучить влияние видов гальванопар, времени обработки и других факторов на удаление из отработанных технологических растворов, применяемых при металлообработке, масел, синтетических поверхностных активных веществ (СПАВ), хрома и др.

Методика

Авторами исследованы сточные воды электротехнической промышленности и предложены методы по их очистке.

К химическим источникам тока относятся аккумуляторы разных типов (кислотные и щелочные) и гальванические элементы разных систем.

Для изготовления кислотных аккумуляторов используется свинец, различные химикаты, серная и соляная кислоты, а для щелочных – железо, никель, другие металлы, а также щелочь. Большинство гальванических элементов изготавливается из угольных электродов, литиевых или кадмиевых и других различных компонентов.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Загрязненные сточных вод на заводах, изготовляющих щелочные аккумуляторы, образуются в цехах обогащения железной руды, отрицательной массы и никелировки сосудов, деталей и лент.

На аккумуляторном НПК «Иста» (г. Днепропетровск) при выпуске 13 видов аккумуляторов (1,3 млн. штук в год) образуется до $10 \text{ м}^3/\text{час}$ или $240 \text{ м}^3/\text{сут}$ загрязненных сточных вод (по технологии немецкого концерна «VARTA»).

Токсичностью называется способность различных химических элементов или их соединений оказывать вредное воздействие на микроорганизмы, растения, животных, человека [1, 2]. Понятие «токсичность» относится не к определенным элементам, например ТМ, а к любым химическим загрязняющим веществам, поступающим в биосферу в высоких концентрациях. В настоящее время общепризнанным является утверждение, что нет токсических веществ – есть токсические концентрации.

ТМ подразделяют на группы:

– **очень токсичные** – оказывают вредное воздействие на тесторганизмы при концентрации в растворе менее $1 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ (Ag^+ , Be^{2+} , Hg^{2+} , Sn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , CrO_4^{2-});

– **умеренно токсичные** – оказывают ингибирующее воздействие при концентрациях $1\text{--}100 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ (As, Se, Al, Ba, Cd, Cr, Mn, Zn, арсенаты, перманганаты, молибдаты, селенаты);

– **слаботоксичные** – редко оказывают ингибирующее воздействие при концентрациях значительно выше $100 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , хлориды, бромиды, сульфаты и др).

Воздействие тяжелых металлов на человека

Различают два вида воздействий ТМ на организм человека:

– **специфическое**, приводящее к возникновению определенных заболеваний в результате избирательного воздействия на органы и системы организма;

– **неспецифическое**, при котором действие элементов способствует росту болезней, связанных с другими факторами.

Специфическое действие проявляется при значительных дозах ТМ, неспецифическое – при низких. Специфическое действие характерно для большинства ТМ, в том числе для

ртути, кадмия, свинца, мышьяка. Поражение рыбы ртутью в Японии вызвало тяжелую болезнь минамата.

Общетоксическое действие высоких доз ТМ на человека или животных приводит к поражению или изменению деятельности таких важнейших систем организма, как центральная и периферическая нервная система, кроветворения, органы внутренней секреции. ТМ наряду с общетоксическим воздействием обладают специфическим влиянием на репродуктивную функцию, способствуют возникновению злокачественных новообразований, нарушению аппарата наследственности. Кадмий, хром, никель, свинец, ртуть влияют на половые клетки, а также специфическое канцерогенное действие оказывает мышьяк, кобальт, кадмий, хром, никель.

ТМ избирательно накапливаются в различных органах и тканях человека и животных [1 – 5, 6]. Обычно они аккумулируются в органах с интенсивными биохимическими процессами – в печени, почках, эндокринных железах.

Из ядов, регулярно попадающих в организм человека, 70 % – попадает с пищей, 20 % – из воздуха и 10 % – с водой [2, 12].

Дети – группа повышенного экологического риска. Стивен Генсон (Офис защиты здоровья детей АОО США) в своем докладе на семинаре (Киев, 1998 г.) объяснил эту ситуацию так: дети вдыхают воздух ближе к земле, поэтому опасность респираторного загрязнения организма выше; дети все тянут в рот; дети употребляют больше пищи и воды на килограмм веса; у детей более интенсивные процессы метаболизма в организме; ТМ попадают в организм ребенка еще до его рождения – от матери к ребенку.

Для воды установлены предельно допустимая концентрация (ПДК) для более чем 960 химических соединений, которые объединены в три группы по следующим лимитирующим показателям вредности (ЛПВ): санитарно-токсикологическому (с-т); общесанитарному (общ.); органолептическому (орг.), (табл. 1) [2, 3, 7, 16].

Наиболее перспективным методом очистки сточных жидкостей от хрома, цветных и тяжелых металлов является гальванокоагуляция, что имеет в литературе многочисленные подтверждения [4–8, 10, 11]. Гальванокоагуляция не требует электроэнергии от внешнего источника и не связана с расходом листового металла.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Таким образом, изучение влияния видов гальванопар, времени обработки и других факторов на удаление из отработанных технологических растворов, применяемых при металлообработке, масел, СПАВов, хрома и т.д. является актуальной задачей, которая и была решена [10, 11, 13].

Для научного исследования использовали следующие гальванопары: $Fe-C$, $Al-C$, $Al-Cu$, $Fe-Cu$. В качестве железа выбрали стружку из стали У8-А, а в качестве углерода – графитовую крупку, кокс и уголь, в качестве алюминия – стружку и гранулы, в качестве меди – стружку и порошок.

Таблица 1

Допустимые величины показателей качества сточных вод и воды водоемов

Table 1

Permissible values of the quality indicators of waste water and water in reservoirs

Наименование ТМ	ДК ТМ в сточных водах, которые поступают на сооружения биологической очистки, г/м ³	Ориентировочная эффективность удаления ТМ на сооружениях биологической очистки (в долях единицы)	ПДК ТМ в воде водных объектов				
			хозяйственно питьевого водоснабжения, г/м ³	ЛПВ	класс опасности	рыбохозяйственно-го назначения, г/м ³	ЛПВ
Алюминий	5	0,90	0,5	с-т	2	0,04	токс
Барий	10	0,95	0,1	с-т	2	2,0	орг
Железо (общее)	2,5	0,50	0,3	орг	3	0,05	токс
Кадмий	0,01	0,60	0,001	с-т	2	0,005	токс
Кобальт	1	0,50	0,1	с-т	2	0,005	токс
Марганец	30	–	0,1	орг	3	0,01	токс
Медь	0,5	0,40	0,1	орг	3	0,005	токс
Мышьяк	0,1	0,50	0,05	с-т	2	0,05	токс
Молибден	–*)	0,40	0,26	с-т	2	–	–
Никель	0,5	0,50	0,1	с-т	3	0,01	токс
Олово	10	–	–	–	–	1,25	токс
Ртуть	0,005	0,60	0,0005	с-т	1	0,0001	токс
Свинец	0,1	0,50	0,03	с-т	2	0,1	токс
Селен	10	0,50	0,01	с-т	2	0,0016	токс
Стронций	26	0,14	7,0	с-т	2	10,0	токс
Титан	0,1	–	0,1	общ	3	–	–
Хром (+3)	2,5	0,50	0,5	с-т	3	–	–
Хром (+6)	0,1	0,50	0,05	с-т	3	0,001	с-т
Цианиды	1,5	0,70	0,1	с-т	2	0,05	токс
Цинк	1,0	0,30	1,0	общ	3	0,01	токс

Примечание: –*) – данные в нормативных документах относительно данного тяжелого металла отсутствуют

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Обезвреживающие жидкости. Отработанные СОЖ на основе эмульсола Т, выбираемые непосредственно из станков перед их удалением и из сборной емкости, в которую сливали отработанные растворы синтетических моющих средств, применяемые для мытья полов в растворе содержали 5...20 объемных % масла, 0,1...0,5 г/л СПАВ, ионы железа, меди, титана, хрома, взвешенные частицы.

Обезжиривающий раствор содержит 10...15% моющего средства СМ-37 (53 % NaCO_3 , 6,8 % SiO_2 , 7 % ПАВ, pH = 10,5 ÷ 12).

Промывающие воды процесса хромирования содержат хром до 200 мг/л.

На основании экспериментов была установлена принципиальная возможность обезвреживания всех исследованных жидкостей методом гальванокоагуляции [17, 19-21].

В зависимости от вида СОЖ и условий процесса гальванокоагуляции содержание нефтепродуктов снижалось с 50...160 г/дм³ до 0,05...15,6 мг/л.

Установлено, что все исследованные гальванопары ($\text{Al}-\text{C}$, $\text{Al}-\text{Cu}$, $\text{Fe}-\text{C}$, $\text{Fe}-\text{Cu}$) можно использовать для очистки СОЖ от нефтепродуктов, однако качество фильтрата, осадка и другие их технологические характеристики существенно различаются.

Результаты

Лучшие результаты по обезвреживанию СОЖ в целом были получены при использовании гальванопары $\text{Fe}-\text{C}$. При оптимальном времени обработки 10...20 мин, осадок получался достаточно плотным, содержание нефтепродуктов в большинстве опытов составляло менее 0,5 мг/дм³.

При содержании ионов хрома в исходных до промывающих водах до 60...100 мг/л гальванокоагуляционная обработка в течение 10...20 мин позволила снизить их содержание в одном литре до нескольких миллиграммов, а при некоторых опытах они исчезли полностью.

Способ очистки сточных вод основан на использовании в предложенном технологическом процессе реактора «ЛЮТОС», основной функцией которого является очистка растворов, содержащих до 1 г/дм³ шестивалентного хрома [4–7, 9, 15]. Реактор состоит из унифицированных модулей, смонтированных в едином карка-

се. Он представляет собой емкость, заполненную определенным количеством насыпного реагента, в качестве которого используются отходы некоторых производств.

Насыпной реагент является малорасходуемым компонентом. Его среднесуточный расход составляет 0,001...0,1 % общего количества и зависит от объема и состава обрабатываемых гальваностокков. Реагент добавляют один раз в месяц. Обработка гальваностокков в реакторе непрерывна. Результаты очистки сточных вод приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты очистки сточных вод

Table 2

Wastewater treatment results

Показатели	До очистки	После очистки
цианиды CN^{-1}	13,10	0,08
железо $\text{Fe}_{\text{общ}}$	151,00	0,07
медь Cu^{+2}	1,10	0,02
никель Ni^{+2}	13,20	0,02
хром Cr^{+6}	404,60	0,00
хром Cr^{+3}	4,92	0,07
цинк Zn^{+2}	926,00	0,03
кадмий Cd^{+2}	2,88	0,01

Применение реактора «ЛЮТОС» (рис. 1) в технологическом процессе очистки гальваностокков позволяет обрабатывать их в едином потоке, отказаться от специальных реагентов для очистки стоков от шестивалентного хрома и цианидов, исключить необходимость подкисления стоков, уменьшить использование щелочных реагентов, вплоть до полного отказа от них, сократить число оборудования, сократить численность производственного персонала. Установку можно легко встраивать в существующие схемы очистного оборудования с минимальными затратами. При использовании реактора «ЛЮТОС» можно организовать замкнутый цикл водополь-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

зования и сократить объемы образующихся гальваношламов за счет снижения объемов применяемых реагентов и др.

Очищенная вода используется в оборотном водоснабжении гальванического производства.

Пополнение воды производится в объеме, равном ее технологическим потерям и объемам, уходящим со шламами. Общие потери воды не превышают 12...15 % первоначального объема сточных вод.

Площадь, занимаемая одним реактором «ЛОТОС», пропускной способностью $2,0 \text{ м}^3$ гальваностоков в час, составляет $0,2 \text{ м}^2$ при высоте 1,5 м. Повышение производительности реактора возможно за счет увеличения его высоты. Потребление электроэнергии одним реактором при обработке $2,0 \text{ м}^3$ гальваностоков в час составляет около 0,5 кВт.

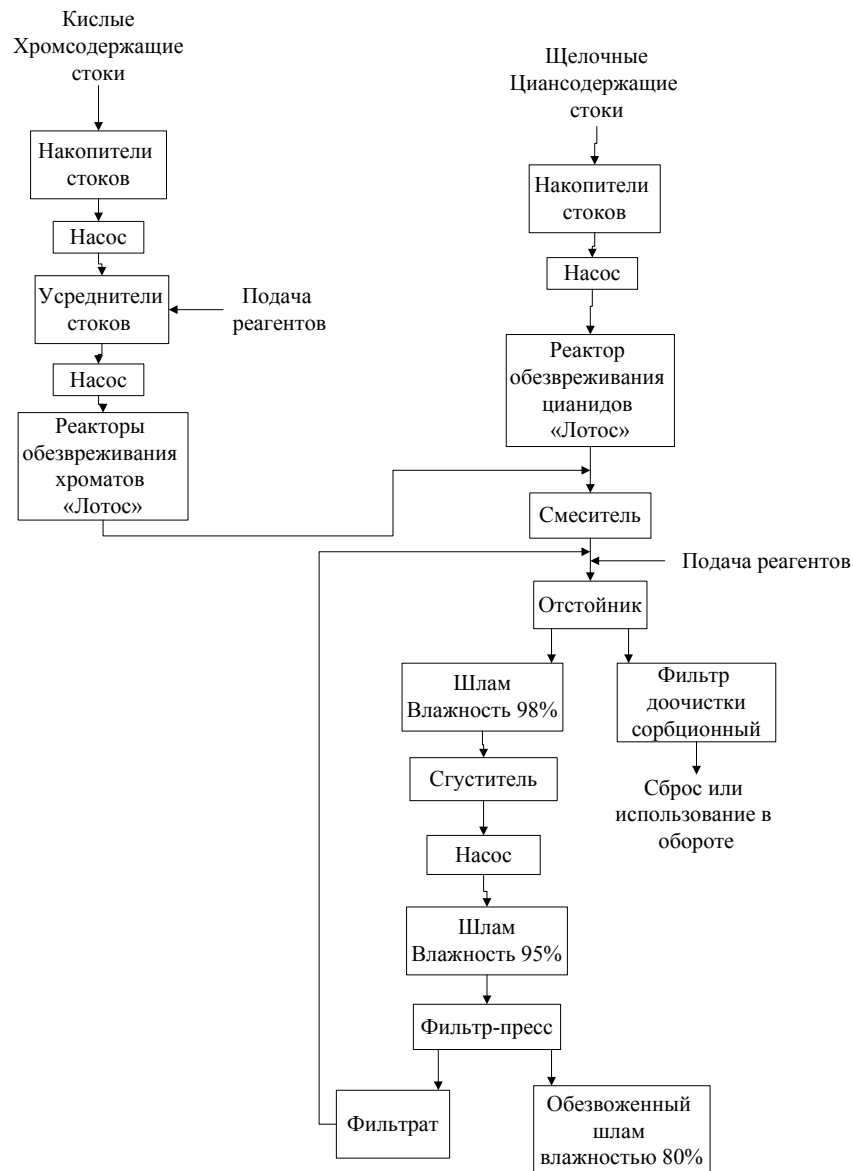


Рис. 1. Технологическая схема очистки стоков гальванического производства с использованием реактора «Лотос»

Fig. 1. Technological scheme for the effluent treatment of the electroplating industry using the «Lotus» reactor

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Ранее нейтрализация сточных вод осуществлялась известковым молоком с дальнейшим отстаиванием в горизонтальных отстойниках непрерывного действия. При нейтрализации стоков до $pH = 8 \div 8,5$ содержание ионов никеля в них снижалось с $40 \dots 50$ до $5 \dots 15$ мг/дм³ при ПДК $0,5$ мг/дм³. Что же касается шестивалентного хрома, привносимого в сточные воды в процессе хроматирования цинковых покрытий, то очистка от него специально не проводилась.

Для восстановления шестивалентного хлора до трехвалентного было принято решение использовать существующий усреднитель кислотно-щелочных стоков в качестве своеобразного гальванокоагулятора, для чего в него засыпались железная стружка и коксовая крошка. При растворении железной стружки и образовании в стоках ионов двухвалентного железа шестивалентный хром восстанавливался до трехвалентного, а дальнейшая очистка проводилась путем нейтрализации и отстаивания гидроокиси хрома в отстойниках периодического действия.

Институтом «Казмеханобр» разработан гальванокоагуляционный способ очистки от ионов ТМ (мышьяка, хрома, цветных металлов), а также нефтепродуктов и растворенных в воде органических веществ [7, 14]. Способ заключается в контакте сточных вод одновременно с медной и стальной стружкой (скрапом) без использования внешнего источника электрического тока. При отсутствии меди в очищенной воде вместо медной стружки можно использовать графит с размером зерен $10 \dots 20$ мм. Обработка осуществляется во вращающихся реакторах барабанного типа. Коагулятор барабанный (КБ-2 и КБ-6) предназначен для непрерывной очистки сточных вод в металлургической, химической, горной промышленности и др. Эффек-

тивность технологического процесса на уровне $95 \dots 99$ %. Расход стоков до 60 м³/ч. Расход железного скрапа – 10 кг/м³. Загрузка разовая железного и медного скрапа – в соотношении $2,5:1=4,55$ т. Расход электроэнергии – $0,3 \dots 0,5$ кВт·ч/м³. Рабочий объем корпуса – $6,5$ м³. Коагулятор КБ-2 работает в кислой, слабощелочной, нейтральной или щелочной среде на открытом воздухе при температуре окружающей среды от -40 до $+45^\circ\text{C}$. Оптимальное время обработки в барабане – 20 мин. Эффект увеличивается при предварительном нагревании сточных вод до $40 \dots 60^\circ\text{C}$.

Научная новизна и практическая значимость

На основании экспериментальной научно-исследовательской работы была установлена принципиальная возможность обезвреживания всех исследованных жидкостей методом гальванокоагуляции. Способ заключается в контакте сточных вод одновременно с медной и стальной стружкой (скрапом) без использования внешнего источника электрического тока.

Выводы

Все исследованные гальванопары ($Al-C$, $Al-Cu$, $Fe-C$, $Fe-Cu$) могут быть использованы для очистки СОЖ от нефтепродуктов, однако качество фильтрата, осадка и другие технологические характеристики существенно различаются.

Для восстановления шестивалентного хлора до трехвалентного было принято решение использовать существующий усреднитель кислотнощелочных стоков в качестве своеобразного гальванокоагулятора, для чего в него засыпались железная стружка и коксовая крошка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Айрапетян, Т. С. Моделирование кислородного режима в биореакторах-аэротенках при очистке сточных вод от органических загрязнений / Т. С. Айрапетян, С. В. Телима, О. Я. Олійник // Доп. Нац. акад. наук України. – 2017. – № 6. – С. 21–27. doi: 10.15407/dopovidi2017.06.021.
2. Біогаз із осадів стічних вод муніципальних каналізаційних очисних споруд в Україні. Перспективи виробництва / М. С. Мальований, В. М. Жук, В. П. Левчишин, М. С. Одуха, І. І. Зозуля, А. С. Середа, В. Т. Шандрович // Хімічна пром-сть України. – 2015. – № 6. – С. 34–39.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

3. Биологическая очистка ливневых сточных вод промышленного предприятия иммобилизованными микроорганизмами и гидробионтами / А. Ф. Рыльский, К. О. Домбровский, К. С. Крупей, Ю. Ю. Петруша // *Химия и технология воды*. – 2016. – Т. 38, № 4. – С. 420–430.
4. Вербаль, С. В. Способ очистки гальваностокос / С. В. Вербаль, М. М. Запарий, В. В. Козлов // *Экология и промышленность России*. – 2001. – № 2. – С. 7–8.
5. Використання зворотного осмосу та нанофільтрації в очищенні стічних вод від фосфатів / О. О. Семінська, Д. Д. Кучерук, М. М. Балакіна, В. В. Гончарук // *Доп. Нац. акад. наук України*. – 2015. – № 7. – С. 150–156.
6. Вронська, Н. Ю. Очищення стічної води методом ультрафіолетового опромінювання / Н. Ю. Вронська, М. С. Мальований, О. Р. Попович // *Хімічна пром-сть України*. – 2015. – № 6. – С. 29–33.
7. Грузинова, В. Л. Анализ работы очистных сооружений предприятий железнодорожного транспорта / В. Л. Грузинова, А. К. Новикова // *Заліз. трансп. України*. – 2017. – № 1. – С. 53–60.
8. Долина, Л. Ф. Проектирование и расчет сооружений и установок для физико-химической очистки производственных сточных вод / Л. Ф. Долина. – Днепропетровск : Континент, 2004. – 127 с.
9. Долина, Л. Ф. Современная технология и сооружения для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов : монография / Л. Ф. Долина. – Днепропетровск : Континент, 2008. – 227 с.
10. Зайцев, Е. Д. Исследование процесса гальванокоагуляции / Е. Д. Зайцев, А. В. Иванов // *Экология и пром-сть России*. – 2002. – № 9. – С. 10–14.
11. Зайцев, Е. Д. Совершенствование метода гальванокоагуляции вредных примесей в сточных водах промышленных предприятий / Е. Д. Зайцев // *Известия вузов. Цветная металлургия*. – 2000. – № 2. – С. 69–75.
12. Компактная установка модульного типа для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод МОКСА / А. Л. Зубко, Ю. И. Штонда, Т. С. Шаляпина, С. Н. Шаляпин, И. Ю. Штонда // *Водопостачання та водовідведення*. – 2016. – № 4. – С. 53–57.
13. Крот, А. П. Модернизация процессов очистки сточных вод и установленного оборудования на очистных сооружениях промывочно-пропарочных станций вагонного депо / А. П. Крот, А. И. Ровенский, В. В. Конев // *Вагонный парк*. – 2017. – № 3/4. – С. 39–43.
14. Феофанов, В. А. Очистка сточных вод методом гальванокоагуляции / В. А. Феофанов, Л. П. Жданович. – Алма-Ата : Казмеханопр, 1991. – 53 с.
15. Шаманский, С. И. Технологические основы организации экологически безопасного функционирования системы водоотведения / С. И. Шаманский, С. В. Бойченко, И. В. Матвеева // *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. – 2017. – № 2. – С. 59–66.
16. Шатохіна, Ю. Забезпечення контролю якості стічних вод / Ю. Шатохіна // *Метрологія та прилади*. – 2015. – № 5. – С. 67–71.
17. Abdel-Shafy, H. I. Chemical Treatment for Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewater / H. I. Abdel-Shafy // *Egyptian Journal of Chemistry*. – 2015. – Vol. 58. – Iss. 1. – P. 1–12. doi: 10.21608/ejchem.2015.293.
18. Application of carbon foam for heavy metal removal from industrial plating wastewater and toxicity evaluation of the adsorbent / C.-G. Lee, M.-K. Song, J.-C. Ryu, C. Park, J.-W. Choi, S.-H. Lee // *Chemosphere*. – 2016. – Vol. 153. – P. 1–9. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.03.034.
19. Mansourri, G. Examination of the Level of Heavy Metals in Wastewater of Bandar Abbas Wastewater Treatment Plant / G. Mansourri, M. Madani // *Open Journal of Ecology*. – 2016. – Vol. 06. – Iss. 02. – P. 55–61. doi: 10.4236/oje.2016.62006.
20. Nguyen, D. D. A new hybrid treatment system of bioreactors and electrocoagulation for superior removal of organic and nutrient pollutants from municipal wastewater / D. D. Nguyen, H. H. Ngo, Y. S. Yoon // *Biore-source Technology*. – 2014. – Vol. 153. – P. 116–125. doi: 10.1016/j.biortech.2013.11.048.
21. Zeitz, P. Public health consequences of mercury spills: hazardous substances emergency events surveillanc system / P. Zeitz, M. F. Orr, W. E. Kaye // *Environmental Health Perspect.* – 2002. – Vol. 110. – Iss. 2. – P. 129–132. doi: 10.1289/ehp.02110129.

Л. Ф. ДОЛИНА^{1*}, Т. П. РЕШЕТНЯК^{2*}

^{1*}Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-6082-7091

^{2*}Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (099) 985 87 75, ел. пошта t.p.reshetnyak@ukr.net, ORCID 0000-0002-4223-5348

ОЧИЩЕННЯ СТОКІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИРОДНИМИ МЕТАЛАМИ

Мета. У роботі необхідно вивчити вплив виду гальванопари (часу обробки та інших факторів) на вида-лення масла, синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР), хрому і т. п. із відпрацьованих технологі-чних розчинів, що застосовуються при металообробці. Представити огляд технологій очищення стічних вод від іонів важких металів, основаних на фізико-хімічних процесах. **Методика.** Для відновлення шестива-лентного хлору до тривалентного було прийнято рішення використовувати існуючий усереднювач кислот-но-лужних стоків у якості своєрідного гальванокоагулятора, для чого в нього засипалася залізна стружка і коксова крихта. **Результати.** Досліджено стічні води електротехнічної промисловості та освітлені сорбцій-ні методи очищення зі застосуванням коагулянтів, іонного обміну. Розглянуто новий гальванокоагуляційний спосіб очищення від іонів ВМ (миш'яку, хрому, кольорових металів), а також нафтопродуктів і розчинених у воді органічних речовин. Наведено допустимі величини показників якості стічних вод і води водоймищ. Дана класифікація груп важких металів за ступенем токсичного впливу. Розглянуто їх вплив на організм людини. Застосування реактора «ЛОТОС» у технологічному процесі очищення гальваностоків дозволяє: обробляти їх у єдиному потоці, відмовитися від спеціальних реагентів для очищення від шестивалентного хрому і ціанідів, виключити необхідність підкислення стоків, зменшити використання лужних реагентів аж до повної відмови від них, скоротити кількість обладнання й чисельність виробничого персоналу, основною функцією якого є очищення розчинів, що містять до 1 г/дм³ шестивалентного хрому. Реактор складається з уніфікованих модулів, змонтованих у єдиному каркасі. **Наукова новизна.** На підставі експериментальної науково-дослідної роботи була встановлена принципова можливість знешкодження всіх досліджених рідин методом гальванокоагуляції. Спосіб полягає у контакті стічних вод одночасно з мідною і залізною струж-кою (скрапом) без використання зовнішнього джерела електроструму. **Практична значимість.** У статті ро-зглядаються актуальні питання очищення стічних вод від солей важких металів, яке необхідне в санітарно-екологічних цілях. Пропонуються сучасні енергозберігаючі та малоенергоємні нескладні методи, такі як метод гальванотехніки. Сучасна установка широко застосовується в промисловості, гальванотехніці та в кордовому виробництві. Описані методи мають ряд позитивних властивостей в економічному та енергети-чному відношенні. Солі важких металів є небезпечними забруднювачами як стічних, так і питних вод. Тому очищення вод є дуже важливою проблемою в області екології нашої країни і за кордоном. Ефект очищення досягається в межах 95 ... 98 %.

Ключові слова: іони; важкі метали; гальванокоагуляція; стоки; гальванопара

L. F. DOLINA^{1*}, T. P. RESHETNIAK^{2*}

^{1*}Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-6082-7091

^{2*}Dep. «Life Safety», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, La-zaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (099) 985 87 75, e-mail t.p.reshetnyak@ukr.net, ORCID 0000-0002-4223-5348

WASTEWATER TREATMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES BY THE NATURAL METALS

Purpose. The paper deals with the galvanic coupling effect (time of treatment and other factors) on the removal of oil, synthetic surface active substances (SSAS), chromium, etc. from waste process solutions used in metalwork-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

ing. It presents an overview of wastewater treatment technologies from heavy metal ions based on physicochemical processes. **Methodology.** To restore hexavalent chlorine to trivalent, authors decided to use the existing averager of acid-alkaline effluents as a kind of galvanic coagulant, for which it was filled with iron turnings and crushed coke. **Findings.** Authors researched wastewater of the electrotechnical industry and highlighted sorption methods for their purification with the use of coagulants, ion exchange. They considered a new galvanocoagulation method for purification from heavy metal (HM) ions (arsenic, chromium, non-ferrous metals), as well as petroleum products and organic substances dissolved in water. Permissible values of the quality indicators of wastewater and water in reservoirs are given. The classification of heavy metal groups according to the degree of toxic effect is presented. Their influence on the human body is considered. The use of the «LOTOS» reactor in the technological process of electroplatings wastes cleaning allows: to process them in a single stream, to abandon special reagents for cleaning effluents from hexavalent chromium and cyanides, to exclude the need for acidification of effluents, to reduce the use of alkaline reagents up to complete rejection of them, to reduce the equipment rate and number of production personnel (their main function is to purify solutions containing up to 1 g/dm³ of hexavalent chromium. The reactor consists of unified modules, mounted in a single frame. **Originality.** On the basis of experimental research work, it was established possibility in principle of treatment of all liquids under research by the galvanocoagulation method. The method consists in contacting of wastewater simultaneously with copper and steel shavings (scrap) without using an external source of electric current. **Practical value.** The article highlights the topical issues of wastewater treatment from salts of heavy metals, which is necessary for sanitary and ecological purposes. We propose modern energy-saving and low-energy-consuming simple methods, such as the galvanic technique. The modern plant is widely used in industry, electroplating and metalware production. The described methods have a number of positive properties in the economic and energy relations. Salts of heavy metals are dangerous pollutants for both sewage and drinking water. Therefore, water treatment is a very important problem in the field of the environment of our country and abroad. The cleaning effect is achieved within 95 ... 98%.

Keywords: ions; heavy metals; galvanocoagulation; wastewater; galvanic coupling

REFERENCES

1. Airapetian, T. S., Telyma, S. V., & Oliynik, O. J. (2017). A modeling of the oxygen regime in bioreactors-aerotanks at the purification of waste waters from organic pollutants. *Reports of the national academy of sciences of Ukraine*, 6, 21-27. doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.06.021>. (in Ukrainian)
2. Malovanyi, M. S., Zhuk, V. M., Levchyshyn, V. P., Odukh, M. S., Zozulia, I. I., Sereda, A. S., & Shadrovych, V. T. (2015). Biohaz iz osadiv stichnykh vod munitsypalnykh kanalizatsiynykh ochysnykh sporud v Ukraini. Perspektivy vyrobnytstva. *Khimichna promyslovist Ukrainy*, 6, 34-39. (in Ukrainian)
3. Rylskiy, A. F., Dombrovskiy, K. O., Krupey, K. S., & Petrusha Y. Y. (2016). Biologicheskaya ochistka livnyeykh stochnykh vod promyshlennogo predpriyatiya immobilizovannymi mikroorganizmami i gidrobiontamy. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 38(4), 420-430. (in Russian)
4. Verbol, V. S., Zapariy, M. M., & Kozlov, V. V. (2001). Methods of Purification of Galvanic Effluents. *Ecology and Industry of Russia*, 2, 7-8. (in Russian)
5. Seminska, O. O., Kucheruk, D. D., Balakina, M. M., & Goncharuk, V. V. (2015). The use of reverse osmosis and nanofiltration in wastewater purification from phosphates. *Reports of the national academy of sciences of Ukraine*, 7, 150-156. doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2015.07.150>. (in Ukrainian)
6. Vronska, N. Y., Malovanyi, M. S., & Popovych, O. R. (2015). Ochyschennia stichnoi vody metodom ultrafi-oletovoho oprominiuvannia. *Khimichna promyslovist Ukrainy*, 6, 29-33. (in Ukrainian)
7. Gruzina, V. L., & Novikova, A. K. (2017). Analiz raboty ochistnykh sooruzheniy predpriyatiy zheleznodorozhnogo transporta. *Railway transport of Ukraine*, 1, 53-60. (in Russian)
8. Dolina, L. F. (2004). *Proektirovanie i raschet sooruzheniy i ustanovok dlya fiziko-khimicheskoy ochistki proizvodstvennykh stochnykh vod*. Dnepropetrovsk: Kontinent. (in Russian)
9. Dolina, L. F. (2008). *Sovremennaya tekhnologiya i sooruzheniya dlya ochistki stochnykh vod ot soley tyazhelykh metallov: Monografiya*. Dnepropetrovsk: Kontinent. (in Russian)
10. Zaitsev, E. D., & Ivanov, A. V. (2002). Investigation of the Process of Galvanocoagulation. *Ecology and Industry of Russia*, 9, 10-14. (in Russian)
11. Zaitsev, E. D. (2000). Improvement in the method of galvanocoagulation of detrimental impurities in industrial wastewaters. *Izvestiya Vuzov. Tsvetnaya Metallurgiya*, 2, 69-75.
12. Zubko, A. L., Shtonda, Y. I., Shalyapina, T. S., Shalyapin, S. N., & Shtonda, I. Y. (2016). Kompaktnaya ustanovka modulnogo tipa dlya ochistki khozyaystvenno-bytovykh stochnykh vod MOKSA. *Vodopostachannia ta vodovidvedennia*, 4, 53-57. (in Russian)

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

13. Krot, A. P., Rovenskiy, A. I., & Konev, V. V. (2017). Modernizatsiya protsessov ochistki stochnykh vod i ustanovlennogo oborudovaniya na ochistnykh sooruzheniyakh promyvochno-proparochnykh stantsiy vagon-nogo depo. *Car Fleet*, 3/4, 39-43. (in Russian)
14. Feofanov, V. A., & Zhdanovich, L. P. (1991). *Ochistka stochnykh vod metodom galvanokoagulyatsii*. Alma-Ata: Kazmekhanobr. (in Russian)
15. Shamanskyi, S. I., Boichenko, S. V., & Matvyeyeva, I. V. (2017). Technological Foundations of Environmentally Friendly Organization of a Sewage System. *Energy Technologies and Resource Saving*, 2, 59-66. (in Russian)
16. Shatohina, Y. (2015). Assurance of Control of Wastewater Quality. *Metrology and Instruments*, 5, 67-71. (in Ukrainian)
17. Abdel-Shafy, H. I. (2015). Chemical Treatment for Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewater. *Egyptian Journal of Chemistry*, 58(1), 1-12. doi: 10.21608/ejchem.2015.293. (in English)
18. Lee, C.-G., Song, M.-K., Ryu, J.-C., Park, C., Choi, J.-W., & Lee S.-H. (2016). Application of carbon foam for heavy metal removal from industrial plating wastewater and toxicity evaluation of the adsorbent. *Chemosphere*, 153, 1-9. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.03.034. (in Ukrainian)
19. Mansourri, G., & Madani, M. (2016). Examination of the Level of Heavy Metals in Wastewater of Bandar Abbas Wastewater Treatment Plant. *Open Journal of Ecology*, 6(2), 55-61. doi: 10.4236/oje.2016.62006. (in English)
20. Nguyen, D. D., Ngo, H. H., & Yoon, Y. S. (2014). A new hybrid treatment system of bioreactors and electro-coagulation for superior removal of organic and nutrient pollutants from municipal wastewater. *Biorsource Technology*, 153, 116-125. doi: 10.1016/j.biortech.2013.11.048. (in English)
21. Zeitz, P., Orr, M. F., & Kaye, W. E. (2002). Public health consequences of mercury spills: hazardous substances emergency events surveillanct system. *Environmental Health Perspect*, 110(2), 129-132. doi: 10.1289/ehp.02110129. (in English)

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Н. Н. Беляевым (Украина)

Поступила в редколлегию: 03.01.2018

Принята в печать: 04.04.2018

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 338.47:656.13

І. Г. АБЕРНІХІНА^{1*}, Н. В. ВАЛЕНЮК^{2*}, Г. О. СУБОТІНА^{3*}

^{1*}Каф. «Фінанси», Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (068) 905 15 45, ел. пошта irina.abernihina@gmail.com, ORCID 0000-0003-0692-1276

^{2*}Каф. «Фінанси», Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (066) 951 11 67, ел. пошта NatalyaValenuk@i.ua, ORCID 0000-0001-6433-6177

^{3*}Каф. «Фінанси», Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (067) 557 75 59, ел. пошта ann777ua@gmail.com, ORCID 0000-0002-9130-2156

ПІДВИЩЕННЯ РЕНТАБЕЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ГАЛУЗІ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА НАПРЯМАМИ КОМЕРЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Мета. Дослідження присвячено аналізу можливих шляхів підвищення рентабельності підприємства, що займається автомобільними перевезеннями. Шляхи підвищення рентабельності передбачається обґрунтувати за напрямками комерційної діяльності підприємства. Головною метою роботи є розрахунок вартості конкретних заходів підвищення рентабельності з обґрунтуванням можливих джерел їх фінансування. **Методика.** У статті здійснено аналіз структури ринку транспортних послуг України. Встановлено обсяг вантажних перевезень досліджуваного підприємства. Проаналізовано частки витрат за напрямками комерційної діяльності та відповідні їм частки прибутку, що отримує підприємство від конкретного напрямку. **Результати.** Проведений аналіз показав, що найбільш значимими й прибутковими є два напрямки комерційної діяльності: транспортування та експедирування вантажів. Ремонт і обслуговування автотранспорту в загальній структурі займають також значне, але не досить прибуткове місце. Найбільш затратною частиною діяльності підприємства є продаж запасних частин для автотранспорту. Інші напрямки діяльності, такі як оренда, миття автомобілів, послуги страхування тощо займають досить невелику частку, але мають перспективи розвитку. Для кожного напрямку комерційної діяльності підприємства запропоновані заходи, спрямовані на підвищення їх ефективності. Автори пропонують більш детально звернути увагу на пункт «установлення сучасних засобів контролю та моніторингу». Для всіх підприємств транспортної галузі постає питання економії витрат через стрімке й постійне зростання вартості палива. Програма економії даної статті витрат досить актуальна для підприємства автомобільних перевезень. **Наукова новизна.** На сьогодні підприємство, діяльність якого розглянута в дослідженні, не використовує систему GPS-контролю. Тому з метою зниження витрат на паливо та координації діяльності підприємства у статті запропоновано й розраховано вартість впровадження системи GPS-контролю. **Практична значимість.** Це впровадження дозволить знизити витрати на енергетичні ресурси, що позитивно вплине на собівартість послуг, які надає підприємство. Зниження собівартості послуг дозволить отримати більший прибуток, що призведе до зростання показників рентабельності.

Ключові слова: автомобільні перевезення; рентабельність підприємства; транспортні послуги; джерела фінансування заходів

Вступ

Ринок послуг автомобільного транспорту є важливою складовою транспортної галузі України і потребує державної підтримки через нерозвиненість транспортної інфраструктури та значне зношення основних засобів, високий

рівень споживчих і промислових цін. Необхідність модернізації транспортної інфраструктури для просування послуг автомобільного транспорту обумовлена посиленням процесів інтеграції національної транспортної системи у європейську, що сприятиме підвищенню

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ефективності та конкурентоспроможності галузі автомобільного транспорту [2].

У сучасних умовах господарювання найактуальнішою проблемою є підвищення ефективності діяльності всіх галузей, оскільки екстенсивні чинники росту суспільного виробництва стають все більш обмеженими. Водночас ринкові умови господарювання посилюють роль і значення удосконалення виробничих відносин та господарського механізму в формуванні ефективного конкурентоспроможного виробництва, здатного забезпечувати продовольчу безпеку країни й нарощувати експорт окремих видів продукції та продовольства, що збільшить внесок в економіку країни [1].

Зростання будь-якого показника рентабельності залежить від багатьох чинників, зокрема від системи управління підприємством, підвищення ефективності використання ресурсів, стабільності взаємних розрахунків і системи розрахунково-платіжних відносин із банками, постачальниками й покупцями. Найважливішими факторами зростання прибутку є зростання обсягу виробництва й реалізації продукції, впровадження науково-технічних розробок, підвищення продуктивності праці, зниження собівартості, поліпшення якості продукції [8].

Проблему підвищення рентабельності підприємств досліджує багато науковців. Вектори дослідження охоплюють такі питання: діагностика рентабельності діяльності підприємства та оцінка факторів впливу на рентабельність підприємства [1, 8], шляхи підвищення рівня прибутковості та дієвості управління прибутком вітчизняних підприємств [3, 5, 6, 11], аналіз прибутку та рентабельності як показників ефективності виробництва [12], розробка стратегії організації вантажних перевезень у контексті підвищення їх дохідності [7], державна політика розвитку інфраструктури ринку автомобільного транспорту [2, 4, 9].

Мета

За мету статті ми ставимо проаналізувати можливі шляхи підвищення рентабельності підприємства за напрямками його комерційної діяльності, а також провести розрахунки вартості конкретних заходів підвищення рентабельності з обґрунтуванням можливих джерел їх фінансування.

Методика

Для отримання емпіричних даних авторами здійснено комплексний аналіз діяльності підприємства галузі автомобільних перевезень із оцінкою технічних характеристик парку автомобілів, структури й динаміки вантажних перевезень за останні роки, із виділенням напрямів його комерційної діяльності та зазначенням частки прибутку за кожним напрямом. Окрім того, виконано огляд наукової літератури з теми дослідження з використанням повнотекстових і реферативних баз даних. Теоретичною базою дослідження стали наукові статті періоду 2013–2017 рр.

Результати

Вантажні та пасажирські автоперевезення – значний сегмент українського бізнесу, адже транспортними послугами користуються практично всі галузі народного господарства та переважна більшість населення.

Сьогодні на ринку комерційних перевезень України здійснюють підприємницьку діяльність майже 56,2 тис. перевізників, які використовують більше 154 тис. транспортних засобів. На рис. 1 подано розподіл транспортних ліцензій за видами перевезень.

Обсяг перевезень на сучасному ринку транспортних послуг, який за своєю природою має задовольняти потребу населення та суспільного виробництва в перевезеннях вантажів, суттєво скоротився через економічну нестабільність у країні, значне підвищення цін на паливо, що в першу чергу викликано падінням курсу національної валюти та інше. Варто врахувати місце транспортних послуг у структурі ринку логістики та спеціалізацію компаній, що реалізують функцію перевезення: для власних потреб чи для надання послуг стороннім суб'єктам економічної діяльності. У цій статті досліджено діяльність підприємства, для якого функція перевезень є профільною та визначальною в отриманні прибутку.

ТОВ «М» – транспортно-експедиційне підприємство, яке успішно і конкурентоспроможливо працює на ринку транспортних послуг уже понад 6 років. Основною сферою діяльності підприємства є вантажні перевезення автомобільним транспортом на міжміських та міжнародних напрямках.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

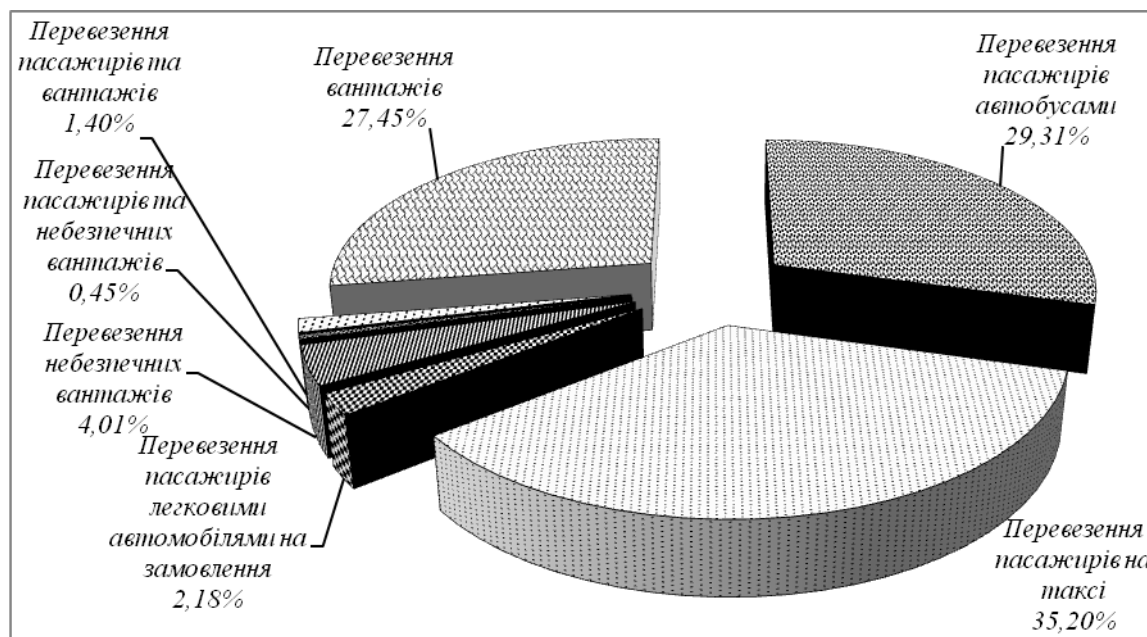


Рис. 1. Структура чинних транспортних ліцензій [10]

Fig. 1. Structure of valid transport licenses [10]

Автопарк підприємства складається із 48 транспортних одиниць вантажопідйомністю від 2 до 52 тонн. Рік випуску транспортних засобів досить різний: здебільшого це транспорт не старіший ніж 5 років, але є й досить старі

транспортні засоби, рік виробництва яких – початок 2000-х років. У таблиці 1 подано технічні характеристики транспортних засобів досліджуваного підприємства.

Таблиця 1

Технічні характеристики транспорту

Table 1

Technical characteristics of the transport

Марка автомобіля	Тип кузова	Розміри кузова, м			Вантажопідйомність, т	Корисний об'єм, м ³	Кількість одиниць, шт
		довжина	ширина	висота			
DAF	Тент	13,6	2,45	2,8	22	86	12
Cherau	Рефрижератор	13,4	2,45	2,6	20	86	8
MAN	Ізотерм	13,4	2,45	2,6	21	92	6
Volvo	Цистерна	13	2,45	2,8	22	25	8
CRYO AB	Цистерна	12,6	2,45	2,8	18	20	9
Goldhover	Платформа	16	2,7	1,3	52	–	2
Brochus	Платформа	13,6	2,7	1,3	40	–	2
DAF	Кран-маніпулятор	13	2,45	3,8	22	96	1

Аналіз вантажних перевезень підприємства за 2016–2017 роки подано в таблиці 2.

Таблиця 2

Обсяг вантажних перевезень ТОВ «М» у 2016–2017 роках

Table 2

The structure of freight transportations by automobile transport LLC «M» in 2016-2017 years

Показник	2016 рік		2017 рік	
	тонн	%	тонн	%
Загальний вантаж, у т. ч.:	24 346	100 %	29 930	100 %
юрідичні особи	16 556	68 %	23 046	77 %
державні установи	5 356	22 %	5 387	18 %
фізичні особи	2 435	10 %	1 496	5 %
Загальна відстань, тис. км	1 219		1 332	

Динаміку вантажних перевезень автотранспортом підприємства в 2016–2017 роках подано на рис. 2.

Проведений аналіз діяльності підприємства показав, що через події, які відбулися в країні у 2014 році, стан фінансів компанії у наступні роки не зазнав значного росту, а за деякими видами перевезень суттєво знизився ряд показників. Так, у 2016 році компанія здійснила перевезення 24 346 т вантажів, при цьому відстань, подолана транспортом компанії, склала 1 219 км. Порівняно з 2013 роком це на 32 % менше за вантажем та на 30 % менше за відстанню. Це відбулося через фактичну втрату частки ринку територій АР Крим, частини Луганської і Донецької обл., нестабільний політичний та фінансовий стан у країні протягом декількох років та значне скорочення інвестиційних можливостей.

Наступний 2017 рік став для ТОВ «М» знаковим, оскільки в цьому році підприємство показало деяке зростання обсягів підприємницької діяльності, а головне – підприємству вдалося зберегти контракти з ключовими клієнтами. Порівняно з 2016 роком зростання обсягів перевезень за вантажем склало майже 23 %, за загальною відстанню відбулося зростання на 9,3 %. Обсяги перевезень зросли за рахунок збільшення маси вантажу на кожну транспортну одиницю. Так, у 2016 році постійно задіяні були 42 одиниці транспорту, що склало майже 580 т на кожну одиницю. У 2017 році цей показник склав 767 т на кожну одиницю, притому постійно задіяними були 39 одиниць транспортних засобів. Таким чином, можна відзначити

загальну тенденцію до економії клієнтами своїх витрат, зокрема витрат на транспортування. Так, у попередні 2009–2013 роки досить багато клієнтів могли собі дозволити замовляти перевезення з неповним заповненням корисного об'єму. Нерідкими були випадки, коли замовник перевезення відвантажував напівпорожню машину, притому вартість послуг сплачувалась як за повне перевезення. У період із 2014 по 2017 рік таких перевезень майже не було, а якщо й траплялися такі випадки, то клієнти сплачували лише за фактично перевезену вагу (рис. 2).

Аналіз обсягів перевезень у 2016–2017 роках показав, що особливих змін не відбулося. Так, частка юридичних осіб, які скористалися послугами ТОВ «М», є переважною і складала 68 % у 2016 та 77 % у 2017 р. Частка перевезень на замовлення державних установ дещо скоротилась із 22 % у 2016 році до 18 % у наступному, але в абсолютному вимірі суттєвих змін не відбулося: 5 356 т у 2016 році проти 5 387 т у 2017 році. Щодо фізичних осіб, то можна зазначити, що частка цієї групи клієнтів скоротилась майже вдвічі як у фактичному значенні – 2 435 т проти 1 496 т, так і у відсотковому – 10 % у 2016 році проти 5 % у 2017 році. Ця тенденція спостерігається з початку 2014 року і частка перевезень на замовлення фізичних осіб постійно падає. Основним фактором, який впливає на такі показники, є економічна ситуація в країні, яка не дозволяє фізичним особам витрачати додаткові кошти на послуги перевезень.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

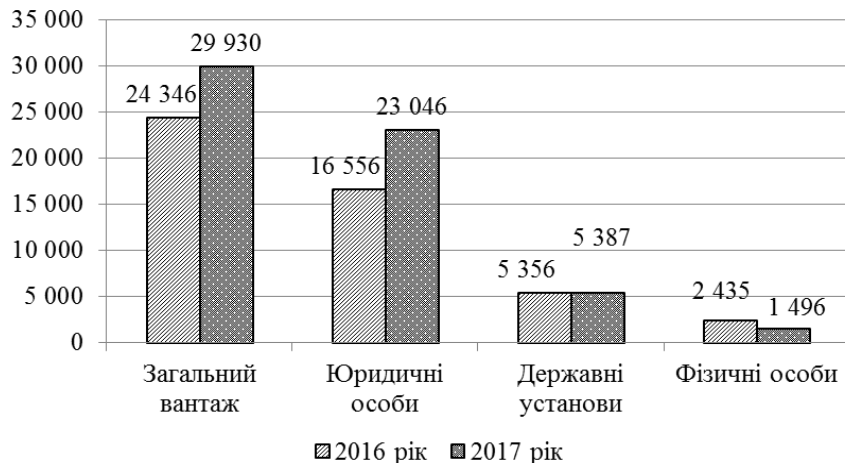


Рис. 2. Динаміка вантажних перевезень ТОВ «М» за 2016–2017 роки

Fig. 2. Dynamics of freight transportations LLC «M» in 2016–2017 years

На сучасному етапі ефективність діяльності підприємств характеризується відносною дохідністю, яка визначається, наприклад, показником рентабельності продукції, тобто співвідношенням прибутку з витратами. Фінансовий стан підприємства треба систематично й усебічно оцінювати з використанням різних методів і прийомів аналізу. Неефективність використання фінансових ресурсів призводить до низької платоспроможності і, як наслідок, до зниження рентабельності підприємства. А рента-

бельність підприємства залежить від рівня його прибутку.

Проаналізувавши основні напрями комерційної діяльності ТОВ «М» за 2016–2017 роки, співвіднівши доходи та фінансові витрати за кожним напрямом, можна зробити висновок, що різні напрями додають до бюджету компанії непропорційні прибутки. У таблиці 3 наведені основні напрями комерційної діяльності та частка прибутку, яка отримана від них підприємством.

Таблица 3

Аналіз напрямів комерційної діяльності ТОВ «М» у 2017 році

Table 3

Analysis of directions of commercial activity, LLC «M» in 2017 year

№ з/п	Напрямок комерційної діяльності	Частка витрат на напрям, %	Частка прибутку від напрямку, %
1	Транспортування вантажів власним транспортом	35	42
2	Експедитування вантажів	20	33
3	Ремонт і обслуговування автомобілів	13	14
4	Продаж запасних частин	28	8
5	Інші види	4	3

Із таблиці видно, що найбільш значними та прибутковими є два напрями: транспортування та експедитування вантажів. Ремонт і обслуговування автотранспорту в загальній структурі займає теж значне, але не досить прибуткове місце. Найбільш затратною частиною діяльності підприємства є продаж запасних частин для

автотранспорту. Частка витрат на цей вид діяльності значна і складає 28 %, але частка прибутку в загальній сумі складає лише 8 %. Інші напрями діяльності, такі як оренда, миття автомобілів, послуги страхування тощо становлять невелику частку, але мають перспективні можливості для розвитку.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Для кожного напрямку комерційної діяльності підприємства можна запропонувати наступні заходи, направлені на підвищення їх ефектив-

ності. У таблиці 4 подано шляхи підвищення рентабельності та очікуваний результат від запропонованих заходів.

Таблиця 4

Шляхи підвищення рентабельності за напрямками діяльності ТОВ «М»

Table 4

Ways to increase the profitability in the directions of LLC «M» activity

№ з/п	Напрямок діяльності	Шляхи підвищення рентабельності	Очікуваний результат
1	Транспортування вантажів	Аналіз технічного стану транспорту підприємства	Дозволить знизити матеріальні витрати на ремонт, зменшити час простою в ремонтній зоні, за рахунок чого підвищиться ефективність перевезення на одиницю транспорту і зменшиться собівартість перевезення
		Встановлення сучасних засобів контролю та моніторингу	Ліквідує надлишковий необґрунтований пробіг транспорту, зменшить витрати на паливо та мастильні матеріали, унаслідок чого зменшиться собівартість перевезень
		Оптимізація штатного персоналу водіїв	Зменшить постійні витрати на оплату праці водіїв та податки, знизить собівартість перевезення
2	Експедитування вантажів	Збільшення різниці між тарифами Замовника і Виконавця	Збільшить рентабельність за рахунок збільшення прибутку при одночасному зменшенні витрат компанії
		Оптимізація відстрочки платежу	Унеможливить «фінансовий розрив» та мінімізує потребу використання короткострокового кредитування, що у свою чергу призведе до зниження собівартості одиниці послуги
3	Ремонт і обслуговування автомобілів	Розвинення мережі клієнтів	Зросте оборот компанії, що за однакових постійних витрат збільшить прибуток
4	Продаж запасних частин	Впровадження спеціалізованої програми обліку за товарними запасами	Дозволить контролювати товарні запаси, дасть можливість економити на витратах для поповнення запасів
		Аналіз обороту запасних частин	Дасть можливість збалансування рівень та асортимент запасу, зекономити на витратах тільки на необхідні та високооборотні запасні частини
		Структурні зміни в управлінні напрямом	Унеможливають дублювання витрат на поповнення запасів або, навпаки, виникнення дефіциту запасів

Пропонуємо більш детально звернути увагу на пункт «установлення сучасних засобів контролю та моніторингу». Сьогодні для всіх підприємств транспортної галузі постає питання економії витрат. Причиною цього факту стало стрімке й постійне зростання вартості палива. Програма економії цієї статті витрат постійно хвилює керівництво підприємств перевізників,

оскільки водії використовують транспорт і для власних потреб, і «зливають» паливо. Декілька років в Україні спостерігається тенденція до встановлення систем GPS-контролю на підприємствах, діяльність яких пов'язана з використанням транспорту і, відповідно, транспортними витратами.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

На даному етапі діяльності ТОВ «М» не використовує систему GPS-контролю, тому доцільним буде запропонувати йому встановлення сучасних засобів контролю й моніторингу з метою зниження витрат на паливо та координації діяльності підприємства. Це впровадження вплине на собівартість послуг, які надає підприємство. Зі зниженням цієї статті витрат зміниться ряд показників, зокрема зросте прибуток підприємства й, відповідно, показники рентабельності.

Проведене дослідження сучасних транспортних систем контролю призвело до вибору системи GPS-контролю транспорту «Сіріус Навігатор». Прилад GPS-спостереження встановлюють на автомобілі перевізника. Він фіксує час, дату, координати, швидкість та інші характеристики. Інформація з приладу накопичується на сервері даних, звідки надходить до програми користувача. Є варіанти використання системи як одним користувачем, так і декількома в межах локальної комп'ютерної мережі або через Інтернет. Основою системи є програмний комплекс Navis. Система може бути адаптована для використання даних в наявних

бухгалтерських та аналітичних програмах (1С, та ін.). Вона не потребує створення аналітичних контролюючих підрозділів на підприємстві. За умови правильного налаштування система не просто видає багатосторінкові звіти з великою кількістю даних, а формує підсумки за фактами виявлених порушень, що економить безцінний робочий час працівників.

У масштабному плані економічний ефект від впровадження системи GPS-контролю транспорту полягатиме в підвищенні якості обслуговування клієнтів, зниженні собівартості послуг (і цін на них) і, як результат, у підвищенні конкурентоспроможності на ринку, виході на провідні позиції, зростанні оборотів і, відповідно, прибутку. Інакше кажучи, впровадження системи GPS-контролю автотранспорту «Сіріус Навігатор» дозволить підвищити якість діяльності ТОВ «М» і економічний ефект від цього впровадження відчуватиметься на підприємстві протягом тривалого часу. У таблиці 5 подано перелік та вартість необхідного обладнання для впровадження системи GPS-контролю з розрахунку 48 машин, що є в наявності.

Таблиця 5

Необхідні складові системи GPS-контролю

Table 5

Necessary components of the GPS control system

Найменування обладнання	Необхідна кількість, од.	Вартість, грн/од.	Загальна вартість, грн
Комплекс Navis	5	12 000	60 000
Програмне забезпечення	1	35 000	35 000
Прилад GPS-спостереження	48	2 800	134 400
Усього, грн			229 400

Таким чином, загальна вартість обладнання, яке необхідно придбати, становить 229 400 грн. До того ж підприємство має сплатити за встановлення приладів спостереження (100 грн/од.), програмне обслуговування. У таблиці 6 подано вищезазначені роботи та їх вартість.

Таблиця 6

Необхідні послуги та їх вартість

Table 6

Necessary services and their cost

Вид послуг	Вартість, грн
Налаштування роботи обладнання, грн	2 000
Монтаж усіх приладів GPS-спостереження, грн	4 800

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Можемо припустити наступне: якщо в результаті запропонованих заходів скоротиться стаття витрат на пальне (за статистикою після подібних заходів це складає приблизно 15–22 % за рік), знизиться й собівартість послуг, які надає підприємство. Пропонуємо для розрахунків взяти нижню межу скорочення витрат – 15 %.

Сума собівартості наданих послуг підприємства у 2017 році становила 11 819,90 тис. грн. Як правило, частка пального для підприємства, що надає транспортні послуги, становить у загальній собівартості приблизно 50 %. Загальна вартість пального, що була використана протягом року, становила:

$$11\,820 \times 50 \% = 5\,910 \text{ тис. грн/рік}$$

Можна припустити, що економія від впровадження системи контролю складатиме:

$$5\,910 \times 15 \% = 886,5 \text{ тис. грн/рік}$$

Сьогодні, в умовах економічної кризи, така суттєва економія є привабливою для будь-якого підприємства.

Отже для впровадження запропонованих заходів необхідна сума в розмірі вартості всього обладнання системи GPS-контролю (229 400 грн), вартості налаштування роботи обладнання (2 000 грн) та вартості монтажу приладів GPS-спостереження для всіх 48 ма-

шин (4 800 грн). Загальна сума початкових витрат становитиме 236 200 грн.

Перед підприємством постає питання – за рахунок яких джерел здійснити фінансування необхідних заходів. Ми пропонуємо розглянути інвестиційні ресурси в різному співвідношенні й обрати ту структуру джерел фінансування, яка забезпечить власникові мінімальну їх вартість та максимальну рентабельність власних коштів. У таблиці 7 подано результати розрахунку, з яких видно, що оптимальною структурою інвестиційних ресурсів для запропонованого проекту з точки зору ROE (рентабельності власного капіталу) є структура 45 % х 55 % (ROE дорівнює 25,60 %, ефект фінансового левериджу (ЕФЛ) – 1,002 %), а з точки зору середньозваженої вартості ресурсів (WACC = 24,3 %) оптимальною є структура 50 % х 50 %. Тож підприємство може здійснити фінансування запропонованого проекту зі встановлення системи GPS-контролю, долучившись до однієї з запропонованих структур (або 50 % власних джерел та 50 % позикових, або 45 % власних та 55 % позикових джерел). За даними структурами підприємство матиме найбільшу рентабельність власного капіталу та найменшу вартість капіталу проекту.

На рис. 3 наочно показано залежність ЕФЛ від структури капіталу.

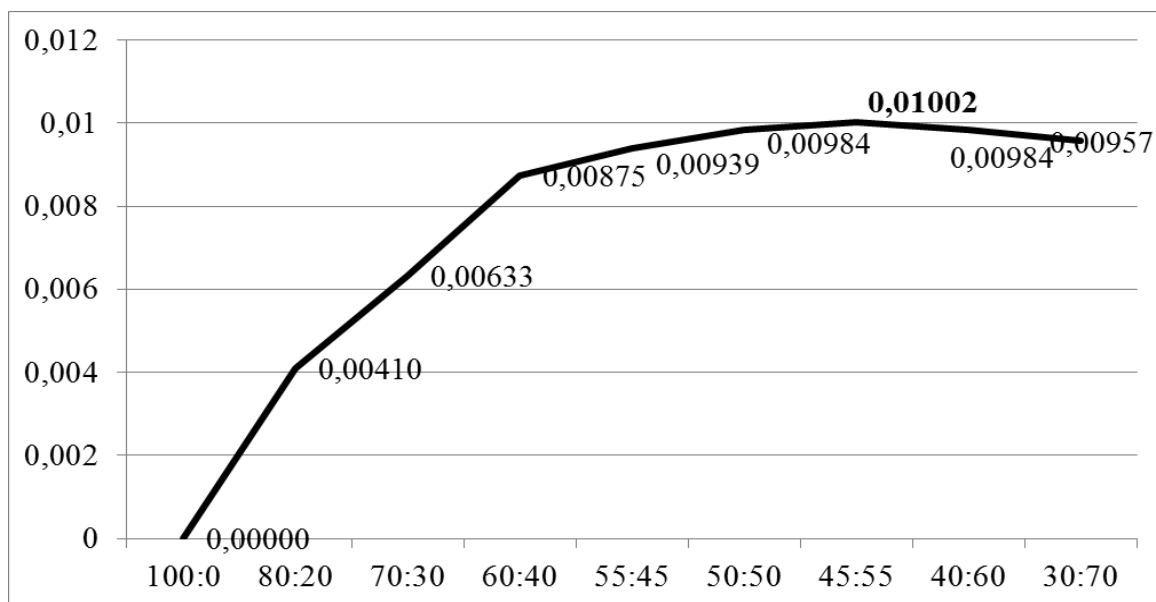


Рис. 3. Залежність ЕФЛ від структури капіталу

Fig. 3. Dependence of the EFL on the structure of capital

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Таблиця 7

Table 7

Вибір джерел фінансування проекту

Selection of project financing sources

Показник, грн	Варіант співвідношення власних коштів до позикових (ВК : ПК)											
	100 % : 0 %	80 % : 20 %	70 % : 30 %	60 % : 40 %	55 % : 45 %	50 % : 50 %	45 % : 55 %	40 % : 60 %	30 % : 70 %			
Сума капіталу проекту, грн	236 200	236 200	236 200	236 200	236 200	236 200	236 200	236 200	236 200			
Позиковий капітал (ПК), грн	0	47 240	70 860	94 480	106 290	118 100	129 910	141 720	165 340			
Власний капітал (ВК), грн	236 200	188 960	165 340	141 720	129 910	118 100	106 290	94 480	70 860			
Коефіцієнт фінансового левериджу (ПК/ВК)	0,00	0,25	0,43	0,67	0,82	1,00	1,22	1,50	2,33			
Коефіцієнт валової рентабельності активів, %	30,00 %	30,00 %	30,00 %	30,00 %	30,00 %	30,00 %	30,00 %	30,00 %	30,00 %			
Відсоткова ставка за кредит (без урахування ступеня ризику)	28,00 %	28,00 %	28,00 %	28,00 %	28,00 %	28,00 %	28,00 %	28,00 %	28,00 %			
Ризик	0,00 %	0,00 %	0,20 %	0,40 %	0,60 %	0,80 %	1,00 %	1,20 %	1,50 %			
Ставка відсотків за кредит з урахуванням ризику, %	28,00 %	28,00 %	28,20 %	28,40 %	28,60 %	28,80 %	29,00 %	29,20 %	29,50 %			
Сума валового прибутку без відсотків за кредит	70 860	70 860	70 860	70 860	70 860	70 860	70 860	70 860	70 860			
Сума сплачуваних відсотків за кредит	0	13 227	19 983	26 832	30 399	34 013	37 674	41 382	48 775			
Сума валового прибутку з урахуванням сплати відсотків за кредит	70 860	57 633	50 877	44 028	40 461	36 847	33 186	29 478	22 085			
Ставка податку на прибуток, %	18 %	18 %	18 %	18 %	18 %	18 %	18 %	18 %	18 %			
Сума податку на прибуток	12 755	10 374	9 158	7 925	7 283	6 632	5 973	5 306	3 975			
Сума чистого прибутку, що залишається на підприємстві	58 105	47 259	41 720	36 103	33 178	30 215	27 213	24 172	18 109			
Коефіцієнт рентабельності власного капіталу (ROE)	24,60 %	25,01 %	25,23 %	25,47 %	25,54 %	25,58 %	25,60 %	25,58 %	25,56 %			
Ефект фінансового левериджу	0,00 %	0,41 %	0,63 %	0,87 %	0,94 %	0,984 %	1,002 %	0,984 %	0,96 %			
Частка власних коштів	1,00	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,30			
Частка позикових коштів	0,00	0,20	0,30	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,70			
Вартість власних коштів	25,00 %	25,00 %	25,00 %	25,00 %	25,00 %	25,00 %	25,00 %	25,00 %	25,00 %			
Середньозважена вартість ресурсів (WACC)	25,00 %	24,59 %	24,44 %	24,32 %	24,31 %	24,30 %	24,33 %	24,37 %	24,43 %			

Наукова новизна та практична значимість

Для підприємства, основним видом діяльності якого є вантажні перевезення, уперше проведено аналіз та розроблено рекомендації, направлені на підвищення його ефективності. Одним із перспективних заходів для цього підприємства є встановлення сучасних засобів GPS-контролю та моніторингу, які до сьогодні підприємство не використовує. Упровадження запропонованих заходів дозволить скоротити ряд витрат, зокрема на паливо, які для підприємств даної галузі складають у середньому 50 % загальної собівартості. Використання системи GPS-контролю дозволить скоротити цей вид витрат щонайменше на 15 %, що в грошовому вимірі для підприємства становитиме 886,5 тис. грн/рік. Водночас підприємству запропонований і фінансово обґрунтований вибір оптимального співвідношення джерел фінансування зазначених заходів із точки зору найменшої вартості ресурсів та одночасної максимізації рентабельності власного капіталу. Усі запропоновані заходи, які раніше керівництво не використовувало, дозволять власникам отримати більший прибуток за рахунок зниження витрат на паливо (за допомогою встановлення засобів контролю та моніторингу), а підібрана оптимальна структура джерел фінансування дозволить отримати максимальну прибутковість власних коштів у розмірі 25,6 %.

Висновки

Аналіз підприємств, що мають ліцензію на здійснення транспортних перевезень в Україні, показав, що значну частку охоплюють підприємства, які спеціалізуються на перевезенні вантажів (27,45 % від загальної кількості транспортних ліцензій). Досліджуваному підприємству ТОВ «М» запропоновані заходи, направлені на підвищення його ефективності, зокрема приділено увагу пункту «встановлення сучасних засобів контролю та моніторингу». Запропоновано встановити систему GPS-контролю, що призведе до економії витрат на паливо в розмірі 886,5 тис. грн/рік. Вартість придбання і встановлення системи становить 236 200 грн. На основі проведеного аналізу різного співвідношення джерел фінансування цього проекту підприємству запропоновано здійснити фінансування зі встановлення системи GPS-контролю, долучившись до однієї із структур: або 50 % власних джерел та 50 % позикових, або 45 % власних та 55 % позикових джерел, оскільки за даними структурами підприємство матиме найбільшу рентабельність власного капіталу та найменшу вартість капіталу проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бержанір, І. А. Діагностика рентабельності діяльності підприємства / І. А. Бержанір // Розвиток національної економіки на інноваційній основі: тенденції та перспективи : [колективна монографія] / за ред. Курмаєва П. Ю., Слатвінського М. А. – Умань, 2015. – С. 27–31.
2. Бойко, О. В. Державна політика розвитку інфраструктури ринку автомобільного транспорту / О. В. Бойко, В. В. Коваль // Розвиток торгівлі та підприємництва в Україні: тенденції та перспективи : зб. наук. пр. за матеріалами Міжнар. наук.-практ. конф. (25–26 трав. 2017 р.). – Одеса, 2017. – С. 33–36.
3. Гаватюк, Л. С. Шляхи підвищення рівня прибутковості вітчизняних підприємств у сучасних умовах господарювання [Електронний ресурс] / Л. С. Гаватюк, Н. М. Перегінняк // Економіка та суспільство. – 2017. – № 9. – С. 363–367. – Режим доступу: <http://economyandsociety.in.ua/journal-9/16-stati-9/867-gavatyuk-l-s-pereginyak-n-m>. – Назва з екрана. – Перевірено : 02.04.2018.
4. Євтушенко, В. Д. Проблеми та напрями раціонального використання автотранспорту / В. Д. Євтушенко // Наук. вісн. нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. Серія: Економіка, аграрний менеджмент, бізнес : зб. наук. пр. – Київ, 2013. – Вип. 181 (4). – С. 153–157.
5. Лойко, В. В. Шляхи збільшення обсягу прибутку та підвищення дієвості управління прибутком промислового підприємства в сучасних умовах господарювання / В. В. Лойко, Є. С. Несенюк // Междунар. науч. журн. – 2015. – № 7. – С. 68–71.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

6. Мелень, О. В. Актуальність питань розробки напрямів підвищення прибутковості підприємства / О. В. Мелень, Т. А. Гаріб'ян // Наук. вісн. Херсон. держ. ун-ту. Сер.: Економічні науки : зб. наук. пр. – Херсон, 2014. – Вип. 8, ч. 3. – С. 91–94.
7. Мітченко, Г. В. Організаційно-економічне забезпечення стратегічного маркетингу на підприємствах автомобільного транспорту : дис. ... канд. екон. наук : 08.00.04 / Галина Валеріївна Мітченко ; Нац. трансп. ун-т. – Київ, 2015. – 211 с.
8. Свірідова, С. С. Оцінка факторів впливу на рентабельність підприємства / С. С. Свірідова, О. О. Пожар // Молодий вчений. – 2014. – № 11. – С. 93–96.
9. Собкевич, О. В. Механізми ефективного використання та розвитку потенціалу транспортно-дорожнього комплексу України : аналіт. доп. / О. В. Собкевич, К. М. Михайличенко, О. Ю. Смельянова. – Київ : НІСД, 2014. – 60 с.
10. Статистичні дані по галузі автомобільного транспорту [Електронний ресурс] / М-во інфраструктури України. – 2017. – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html>. – Назва з екрана. – Перевірено : 20.03.2018.
11. Стричак, Г. В. Підвищення рівня прибутковості підприємства / Г. В. Стричак, І. В. Цюпко, М. А. Дякович // Наук. вісн. НЛТУ України : зб. наук.-техн. пр. / Нац. лісотехн. ун-т України. – Львів, 2014. – Вип. 24.10. – С. 262–268.
12. Шляга, О. В. Прибуток та рентабельність як показники ефективності виробництва [Електронний ресурс] / О. В. Шляга, Л. І. Шипуля. – 2014. – Режим доступу: http://www.zgia.zp.ua/gazeta/evzdia_8_075.pdf. – Назва з екрана. – Перевірено : 20.03.2018.
13. Kamar, K. Analysis of the Effect of Return on Equity (Roe) and Debt to Equity Ratio (Der) On Stock Price on Cement Industry Listed In Indonesia Stock Exchange (Idx) In the Year of 2011-2015 / K. Kamar // IOSR Journal of Business and Management. – 2017. – Vol. 19. – Iss. 05. – P. 66–76. doi: 10.9790/487X-1905036676.
14. Ichsani, S. The Effect of Return on Equity (ROE) and Return on Investment (ROI) on Trading Volume / S. Ichsani, A. R. Suhardi // Procedia-Social and Behavioral Sciences. – 2015. – Vol. 211. – P. 896–902. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.11.118.
15. Mareček, J. The importance of ROE for calculating EVA Equity: the case of Motor Jikov Strojírenská, a.s. / J. Mareček, Z. Rowland // SHS Web of Conferences. – 2017. – Vol. 39. – No. 01017. – P. 1–10. doi: 10.1051/shsconf/20173901017.

И. Г. АБЕРНИХИНА^{1*}, Н. В. ВАЛЕНЮК^{2*}, А. А. СУББОТИНА^{3*}

^{1*}Каф. «Финансы», Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, Днипро, Украина, 49600, тел. +38 (068) 905 15 45, эл. почта irina.abernihina@gmail.com, ORCID 0000-0003-0692-1276

^{2*}Каф. «Финансы», Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, Днипро, Украина, 49600, тел. +38 (066) 951 11 67, эл. почта NatalyaValenuk@i.ua, ORCID 0000-0001-6433-6177

^{3*}Каф. «Финансы», Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, Днипро, Украина, 49600, тел. +38 (067) 557 75 59, эл. почта ann777ua@gmail.com, ORCID 0000-0002-9130-2156

ПОВЫШЕНИЕ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ОТРАСЛИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПО НАПРАВЛЕНИЯМ КОММЕРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Цель. Исследование посвящено анализу возможных путей повышения рентабельности предприятия, которое занимается автомобильными перевозками. Пути повышения рентабельности предполагается обосновать по направлениям коммерческой деятельности предприятия. Главной целью работы является расчет стоимости конкретных мероприятий повышения рентабельности с обоснованием возможных источников их финансирования. **Методика.** В статье осуществлен анализ структуры рынка транспортных услуг Украины. Установлен объем грузовых перевозок исследуемого предприятия. Проанализирован удельный вес расходов по направлениям коммерческой деятельности и соответствующий им удельный вес прибыли, получаемой предприятием от конкретного направления. **Результаты.** Проведенный анализ показал, что наиболее значимыми и доходными являются два направления коммерческой деятельности: транспортировка и экспедиция грузов. Ремонт и обслуживание автотранспорта в общей структуре занимают также значительное место. Наиболее затратной частью деятельности предприятия является продажа запасных частей для автотранспор-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

та. Прочие направления деятельности, такие как аренда, мойка машин, услуги страхования занимают незначительную часть, но имеют перспективы для развития. Для каждого направления коммерческой деятельности предприятия предложены мероприятия, направленные на повышения их эффективности. Авторы предлагают обратить внимание на пункт «установка современных средств контроля и мониторинга». Для всех предприятий транспортной отрасли возникает вопрос экономии расходов из-за стремительного и постоянного роста стоимости топлива. Программа экономии данной статьи расходов очень актуальна для предприятия автомобильных перевозок. **Научная новизна.** На сегодняшний день исследуемое предприятие не использует систему GPS-контроля. Поэтому с целью снижения расходов на топливо и координации деятельности предприятия в статье предложена и просчитана стоимость внедрения системы GPS-контроля. **Практическая значимость.** Предложенное внедрение системы GPS-контроля позволит снизить расходы на энергетические ресурсы. Это положительно повлияет на себестоимость предоставляемых предприятием услуг. Снижение себестоимости услуг позволит получить больше прибыли, что в конечном итоге приведет к росту показателей рентабельности.

Ключевые слова: автомобильные перевозки; рентабельность предприятия; транспортные услуги; источники финансирования мероприятий

I. G. ABERNIKHINA^{1*}, N. V. VALENIUK^{2*}, A. A. SUBBOTINA^{3*}

^{1*}Dep. «Finance», National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Av. 4, Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (068) 905 15 45, e-mail irina.abernikhina@gmail.com, ORCID 0000-0003-0692-1276

^{2*}Dep. «Finance», National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Av. 4, Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (066) 951 11 67, e-mail NatalyaValenuk@i.ua, ORCID 0000-0001-6433-6177

^{3*}Dep. «Finance», National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Av. 4, Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (067) 557 75 59, e-mail ann777ua@gmail.com, ORCID 0000-0002-9130-2156

INCREASE IN PROFITABILITY OF THE ENTERPRISE OF THE AUTOMOBILE TRANSPORTATION INDUSTRY BY DIRECTIONS OF COMMERCIAL ACTIVITY

Purpose. The study highlights the analysis of possible ways to increase the profitability of an enterprise that deals with road transport. The ways of increasing profitability are supposed to be justified on the lines of the commercial activity of the enterprise. The main purpose of the work is to calculate the cost of specific measures to improve profitability with the rationale for possible sources of their financing. **Methodology.** The authors analyzed the structure of the transport services market in Ukraine, established the freight transport structure of the enterprise under investigation. The share of expenses in the areas of commercial activity and the corresponding share of profit received by the enterprise from a specific direction were analyzed. **Findings.** The conducted analysis showed that two areas of commercial activity are the most significant and profitable: transportation and freight forwarding. Repair and maintenance of vehicles in the overall structure also occupies a significant place. The most costly part of the enterprise is the sale of spare parts for vehicles. Other areas of activity, such as renting, car washing, and insurance services occupy a small part, but have prospects for development. For each direction of the commercial activity of the enterprise, measures are proposed to improve their effectiveness. The authors suggest paying attention to the item «installation of modern control and monitoring facilities». At this stage, for all transport enterprises there is a problem of saving costs. The reason for this fact was the rapid and constant increase in the cost of fuel. The program for saving this expense item is very relevant for the road transport company. **Originality.** To date, the company under investigation does not use a GPS monitoring system. Therefore, in order to reduce fuel costs, establish order in the robot and coordinate in the enterprise, the article proposed and calculated the implementation of a GPS monitoring system. **Practical value.** The proposed introduction of a GPS monitoring system will reduce the cost of energy resources. This will positively affect the cost of the services provided. Decrease in the cost price of services will allow receiving more profit that will eventually lead to growth of indicators of profitability.

Keywords: automobile transportations; profitability of the enterprise; transport services; sources of funding activities

REFERENCES

- Berzhanir, I. A. (2015). Diagnostyka rentabelnosti diialnosti pidpriemstva. In P. Y. Kurmaieva, M. A. Slatvinskoho (Eds.). *Rozvytok na-tcionalnoi ekonomiky na innovatsiinii osnovi: tendentsii ta perspektyvy : kolektyvna monohrafiia* (pp. 27-31). Uman. (in Ukrainian)
- Boiko, O. V., & Koval, V. V. (2017). Derzhavna polityka rozvytku infrastruktury rynku avtomobilnoho transportu. *Rozvytok torhivli ta pidpriemnytstva v Ukraini: tendentsii ta perspektyvy : zbirnyk naukovykh prats za materialamy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Odesa, 25–26 travnia 2017 r.)*, 33–36. (in Ukrainian)
- Havatiuk, L. S., & Perehyniak, N. M. (2017). Shliakhy pidvyshchennia rivnia prybutkovosti vitchyznianskykh pidpriemstv u suchasnykh umovakh hospodariuvannia. *Ekonomika ta suspilstvo*, 9, 363-367. Retrived from: <http://economyandsociety.in.ua/journal-9/16-stati-9/867-gavatyuk-l-s-peregyniak-n-m>. (in Ukrainian)
- Yevtushenko, V. D. (2013). Problemy ta napriamy ratsionalnoho vykorystannia avtotransportu. *Scientific Journal of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Economy, Agrarian Management, Business*, 181(4), 153-157. (in Ukrainian)
- Loiko, V. V., & Nesenjuk, Y. S. (2015). Shliakhy zbilshennia obsiahu prybutku ta pidvyshchennia diievosti upravlinnia prybutkom promy-slovoho pidpriemstva v suchasnykh umovakh hospodariuvannia. *The International Scientific Journal*, 7, 68-71. (in Ukrainian)
- Melen, O. B., & Garibyan, T. A. (2014). Actuality of issues development directions of increasing profitability of the enterprise. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriya: Ekonomichni nauky*, 8(3), 91-94. (in Ukrainian)
- Mitchenko, H. V. (2015). *Orhanizatsiino-ekonomichne zabezpechennia stratehichnoho marketynhu na pidpriemstvakh avtomobilnoho transportu*. (Dysertatsiia kandydata ekonomichnykh nauk). National Transport University. (in Ukrainian)
- Sviridova, S. S., & Tomashaytis, D. D. (2014). Capital formation of enterprises bread industry. *Young Scientist*, 8(11), 93-96. (in English)
- Sobkevych, O. V., Mykhailychenko, K. M., & Yemelianova, O. Y. (2014). *Mekhanizmy efektyvnoho vykorystannia ta rozvytku potentsialu transportno-dorozhnoho kompleksu Ukrainy: analitychna dopovid*. Kyiv: NISD. (in Ukrainian)
- Statystychni dani po haluzi avtomobilnoho transportu (2017). *Ministry of infrastructure of Ukraine*. Retrived from <https://mtu.gov.ua/content/statystychni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html>. (in Ukrainian)
- Strichak, G. V., Tsyupko, I. V., & Dyakovich, M. A. (2014). Profitability level increasing. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 24.10, 262-268. (in Ukrainian)
- Shliaha, O. V., & Shypulia, L. I. (2014). *Prybutok ta rentabelnist yak pokaznyky efektyvnosti vyrobnytstva*. Retrived from http://www.zgia.zp.ua/gazeta/evzdia_8_075.pdf. (in Ukrainian)
- Kamar, K. (2017). Analysis of the Effect of Return on Equity (Roe) and Debt to Equity Ratio (Der) On Stock Price on Cement Industry Listed In Indonesia Stock Exchange (Idx) In the Year of 2011-2015. *IOSR Journal of Business and Management*, 19 (05), 66-76. doi: 10.9790/487X-1905036676. (in English)
- Ichsani, S., & Suhardi, A. R. (2015). The Effect of Return on Equity (ROE) and Return on Investment (ROI) on Trading Volume. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 211, 896-902. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.11.118. (in English)
- Mareček, J., & Rowland, Z. (2017). The importance of ROE for calculating EVA Equity: the case of Motor Jikov Strojírenská, a.s. *SHS Web of Conferences*, 39 (01017), 1-10. doi: 10.1051/shsconf/20173901017. (in English)

Стаття рекомендована до публікації к.т.н., доц. В. В. Железняк (Україна)

Надійшла до редколегії: 05.12.2017

Прийнята до друку: 12.03.2018

UDC 656.2:338.47

O. A. TOPORKOVA¹, L. A. SHYLO^{2*}

¹Dep. «Accounting and Taxation», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 69, e-mail toporkova1975@gmail.com, ORCID 0000-0003-0956-3638

^{2*}Dep. «Accounting and Taxation», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 69, e-mail 1954shilo@gmail.com, ORCID 0000-0003-3235-1377

ANALYTICAL SUPPORT OF FINANCIAL ANALYSIS AT THE RAILWAY TRANSPORT

Purpose. The work is dedicated to systematization of basic directions for financial analysis taking into account the specific features of railway industry. **Methodology.** In the course of the research there were used the methods of analysis and synthesis to study the content and basic provisions of scientific publications on the chosen topic. **Findings.** The railway industry has a specific system of financial relations. Knowing the objective development laws of the industry technological system, you can create an appropriate mechanism for managing it and its resources. The selection of the necessary method of analysis and system of indicators, which will provide a comprehensive study and representation of the enterprise activity, is fundamental for the adoption of management decisions. Financial analysis is an important element of analytical work for the needs of modern management. With the help of financial analysis it is possible to determine the place of the enterprise among other subjects of the industry; to assess the structure of capital and the dynamics of enterprise development. Consequently, the quality of the decisions taken completely depends on the analytical substantiation. Financial analysis is carried out according to certain groups of economic indicators, which give an overall assessment of the financial condition of the enterprise, the profitability of its activities and long-term solvency. The analysis of the financial and economic condition is an important part of effective management of the formation, placement and use of rail transport resources. The features of conducting and interpreting the analysis results of the financial condition at the structural units of PJSC «Ukrzaliznytsia» – regional branches, branch affiliates, production units (if they have a balance sheet), – are explained by the specifics of their economic activities. **Originality.** The obtained results allow us to consider financial reporting as an informational and analytical provision of financial analysis taking into account the specifics of the corporate railway industry relations. The method of financial analysis should be consistent with the strategic objectives of the business entity, which are determined by the system of strategic management and investment and financial planning of the railway industry. **Practical value.** The assessment of the financial condition of an enterprise can be objectively carried out using a system of indicators that take into account the technological specificity of the rail transport, comprehensively characterizing the results of its activities and reflect the competence of management through the quality of the decisions taken.

Keywords: financial reporting; analysis; analytical support; financial condition

Introduction

The transportation industry is leading for any country, because it provides interaction of all other industries. In the context of the corporatization of rail transport, there is a clear need for financial analysis of the company's activities in areas targeting the market segments. It should be considered as an integral part of the overall financial planning system, which will help to optimize the financial performance of the business entities by increasing their financial stability and liquidity, as well as ensure efficient management of cash flows, capital and investments, which is especially important in

the current operating realities of the railway industry.

The railroad market requires, on the one hand, reduction of the operating costs, and on the other hand, improvement of the quality of transportation and increase in traffic. The consolidation of production (transition to a vertically integrated structure) and the associated concentration of capital can contribute to an effective solution to these problems.

Worldwide practice shows that large integrated companies are the most influential in most sectors of the economy of developed countries. The incen-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

tive to approve such a structure is the market itself, in which the subjects of management operate. But large integrated companies require system management and financial planning, an important element of which is financial analysis.

Purpose

The purpose of the work is to study, compare and generalize information and analytical support for the needs of financial analysis in the conditions of corporatization of the railway industry.

Methodology

To achieve this purpose, we use methods of comparison, scientific research, synthesis and analysis in the work. We explored the approaches to financial planning in railway transport. It has been found that in the economic literature there is a positive experience and the need for applying financial analysis according to the financial reporting taking into account the specific features of the industry.

Findings

Rail transport is a leader within the boundaries of internal communication, and often also in international traffic when transporting products and raw materials of most industrial branches. It is this transport that provides transportation of mass industrial and agricultural cargoes (coal, metal products, grain, etc.) for long distances regardless of the season and weather conditions.

58% of cargo turnover and 43% of passenger traffic in Ukraine are provided by rail. Currently, it has key importance for maintaining the export potential of the state. The rail transport is also important for development of transit capacities in Ukraine, since three out of ten European transport corridors go through the territory of our country [5].

Modern railway industry is a complex system of interconnections of technological (industrial) and organizational (administrative) structures of the transportation process. Organizational structures are a reflection of the structures of technological systems and are intended to ensure their functioning and development.

A key direction for reforming the railway industry is the transition to a vertically integrated structure, which involves:

- Transition from the regional organizational structure, namely – vertical integration of the company's activities in the areas targeted for market segments;
- Principles of budgeting and economically justified mutual settlements between verticals;
- New system of tariff formation: separation between the infrastructure and the traction component of the tariff;
- New effective system of corporate governance: a clear division of functions between structural units and verticals with the definition of financial and economic objectives for each vertical and control over their implementation [5].

The management process of any entity is cyclic, which is reflected in the sequential repetition of certain administrative actions in relation to the object of management while changing the conditions under which the object operates and changing certain tasks relating to this object.

The main stages of each single control cycle are as follows:

- Identification of conditions and circumstances that determine the need for the management of the managing subject for the operation of the managed object;
- Formation of a problem in the activity of the managed object in connection with certain conditions and circumstances that need to be resolved;
- Preparation and approval of the management decision;
- Organization of the practical implementation of the decision;
- Analytical assessment of the current and final results of the decision.

Understanding of the general financial condition of PJSC «Ukrzaliznytsia» (hereinafter PJSC «UZ») (Corporate Centre), of separate regional and branch affiliates (vertical) and timely and qualitative analysis of their financial situation are the basis for the adoption of management decisions.

The selection of the necessary method of analysis and system of indicators, which will provide comprehensive study and representation of the enterprise activity, is fundamental for making managerial decisions aimed at solving the question of choosing the directions of activity and develop-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ment of the enterprise, improving its efficiency, competitiveness and profitability [8, p. 99].

The railway industry has a specific system of financial relations connected with the fact that the transportation of goods and passengers throughout the network of railways of Ukraine is carried out in accordance with a single technological process on the basis of common network tariffs, although each regional branch (railroad) and each company in a vertically integrated structure of PJSC «UZ» has an individual cost, justified by objective factors and features of the railway.

Knowing the objective development laws of the industry technological system, you can create an appropriate mechanism for managing it and its resources.

The modern mechanism of railway transport management is considered as a set of strategic, tactical and operational levels of management.

Thus, the tasks of the Corporate Centre are as follows [5]:

- Ensuring the implementation of strategic plans and achieving strategic goals and performance targets of PJSC «UZ»;
- Improving the quality of planning and ensuring the transition from short-term planning to long-term planning by goals;
- Formalization of business processes of PJSC «UZ» and preparation of the plan for their transformation in order to improve the management system and significantly reduce the administrative apparatus;
- Balancing the decision-making process to determine the level of responsibility of each structural unit of the Corporate Centre and business verticals.

At the strategic level there is coordination of all resources and internal links, all goals, tasks and areas of responsibility with the chosen strategy. At this level, the necessary organizational changes are taking place and the directions of activity of each separate structural subdivision are developed. In accordance with the selected organizational management structure, the financial structures are formed. Also, the organizational support for management is formed, which is the basis for constructing the accounting policy and logistics strategy management of economic entities.

At the tactical level, the selected strategies are detailed to business plans, financial plans and budgets. Financial analysis, based on accounting

data, and technical-economic analysis are among the key elements when deciding on the effectiveness of tactical programs in terms of achieving an entity's strategic goals.

Achieving strategic goals means meeting the needs of customers, shareholders and other business entities. Therefore, at the operational level of management, the focus is on creating value for customers, shareholders and other stakeholders through the efficient use of available resources.

The formation of three main levels of management: operational, strategic, tactical is associated with the creation of the necessary and sufficient information support system. Virtually every level of management creates its own integrated information system with clearly defined streams of information, the necessity and adequacy of which need to be determined.

At the operational management level, cost centres that serve as sources of information generation and initial processing are set up; this is essentially the level of information and analytical provision of the management process, therefore it requires operational control of the primary data input accuracy. At the level of tactical management decisions, it is expedient to form investment centres; information provision of this level is formed on the basis of consolidated accounting, internal reporting of structural units and business segments. The level of strategic management involves the emergence of profit centres and is characterized by the intensity of vertical and horizontal accounting flows.

Financial analysis is an important element of analytical work for the needs of modern management. Financial analysis, as a control element, allows you to evaluate:

- property status of the business entity;
- capital adequacy for current activities and long-term investments;
- need for additional funding sources;
- rationality of attraction of borrowed funds;
- efficiency of the use of assets and capital;
- state of the settlement discipline;
- financial results of activity;
- probability of bankruptcy.

The analysis of the financial and economic situation is an important part of effective management of the formation, placement and use of rail transport resources. The financial condition is determined by the size, composition and structure of

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

assets, equity and liabilities, certain ratios of which are determined by the financial stability, liquidity and solvency of economic entities.

But the railway industry is quite specific in terms of building financial relations. Therefore, the use of standard methods of financial analysis is conditional and does not reflect the real financial state of research objects. The peculiarities of conducting and interpreting the results of the analysis of the financial state of Ukrzaliznytsia PJSC's structural subdivisions (regional branches, branch affiliates, production units (if they have a balance sheet) are explained by the specifics of their economic activities.

In the economic literature, for the formation of the financial support mechanism, they use the diagnostics, which involves determining the composition and structure of the sources for financing the production activities, with an assessment of the degree of compliance of the sources structure with the specifics of the industry.

Karacharova K.A. considers the diagnosis of financial activity, namely – the diagnosis of financial security as the starting point for the formation of the financial strategy of railway transport enterprises. Karacharova K.A. offers three basic criteria for assessing the state of financial resources for the implementation of such a diagnosis [3, p. 37]:

- Compliance of the capital structure with the assets of the enterprise (here there are used such indicators as equity to total assets ratio, assets immobilization ratio, short-term debt ratio);
- Structure of current financing – level of financial provision of current economic activity (here there are used such indicators as own working capital, own working capital coverage ratio, own inventories and expenses coverage ratio, days payable and receivable outstanding);
- Structure of internal reserves and financial results of the enterprise (profit or its absence, profitability, average interest rate on bank loans, income and property growth rate, etc.).

Based on these criteria, an integral estimation is formed that characterizes the quality of financial support and is the basis for the adoption of an appropriate management decision.

Such an approach, in our opinion, is appropriate to use at the level of PJSC «UZ», since the financial plan is made by Ukrzaliznytsia and only the indicators of the company as a whole comply with the proposed method. But at the level of re-

gional affiliates, branch affiliates and structural units, it often becomes necessary to carry out financial analysis according to reporting indicators. Taking into account the huge amounts under the economic calculations, which, when drawing up consolidated accounts at the level of regional branches and PJSC «UZ» are withdrawn, we propose, when calculating the ratios, where the total amount of receivables or payables is used, to deduct the amount of this indebtedness.

According to Bogomolova N. I.: financial problems of the functioning of the industry are manifested in the inconsistency of the volume of financing regulatory requirements of the processes of reproduction of basic productive assets due to the reduction of the role of depreciation mechanism (only 7.510% of fixed assets are replaced because of depreciation) and a low level of investment activity [1].

If an entity has the opportunity to attract financial resources from different sources, this allows it to relatively freely manoeuvre with the structure of these resources, choosing effective combinations. However, the volume and structure of financial resources are influenced by such factors as the organizational and legal form of the entity, ownership, branch affiliation, internal financial policy, etc. The structure of financial support sources affects the balance between financial sustainability and financial risk of activities.

Despite the fact that PJSC «UZ» is a joint-stock company and 100% of the shares of the economic partners were introduced into its authorized capital, all of these shares belong to the state. A system of financial management of a state enterprise should take into account the following features:

- Low profitability, in particular passenger traffic, which is connected, first of all, with satisfaction of social needs;
- Significant need for state support;
- Small opportunity to borrow due to low profitability;
- Influence of the state on tariff formation.

These features affect the indicators of the financial state of the railway industry operator. And the specific organizational structure of the branch requires an appropriate approach to managing financial resources and assessing the financial condition of certain divisions (affiliates) and subsidiaries of PJSC «UZ» (Fig. 1).

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

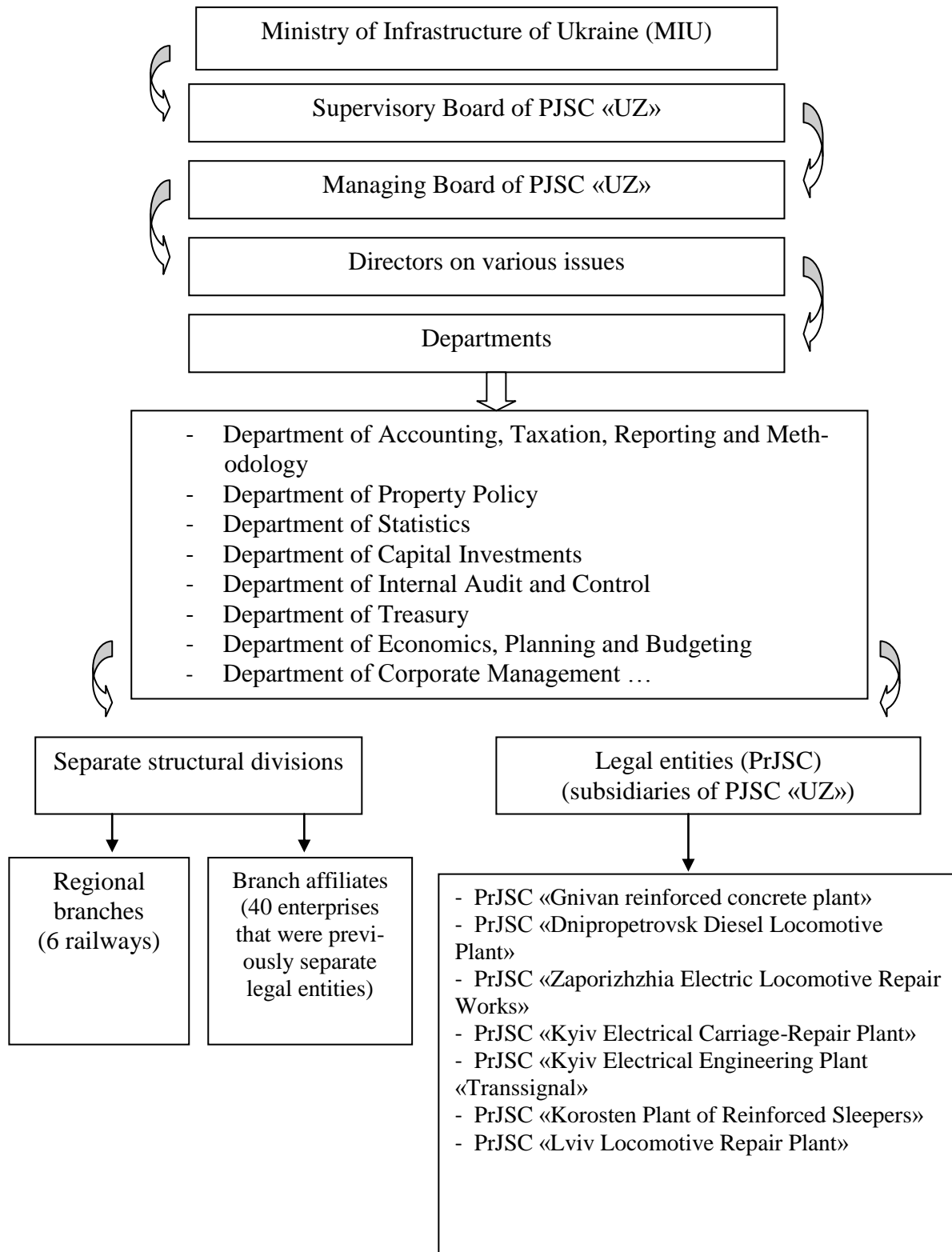


Fig. 1. Organizational structure of PJSC «Ukrzaliznytsia»

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

In the conditions of corporatization, the Board of PJSC «UZ» is subordinated to Directors (14 persons) and Departments (currently there are 48 units). Figure 1 shows only eight of them, which in our opinion should be involved in shaping the financial strategy of the company, as it is assumed that the general corporate services in the field of investment and finance will be:

- Formation of financial plans and capital investment plan;
- Maintenance of accounting and financial reporting;
- Management of corporate accounts;
- Financial control;
- Attraction of investments for the needs of structural units.

Among the financial problems, the most important is the assessment and analysis of the financial situation, which is shaped by the influence of both external and internal factors. On the one hand, it is the result of the business entity's activities, indicating its achievements, on the other hand, it identifies the preconditions and reserves for the development of the enterprise.

When conducting the analysis, the main attention is paid to internal factors that depend on the

technological specifics of the railway industry entities, which one can influence, correct their effect and to a certain extent manage them.

In the railway industry, it is particularly important to determine the production efficiency, since it is aimed at minimizing costs and maximizing profits. The effectiveness and usefulness of assessing the efficiency of rail transport enterprise activity depends on the quality of data base formation for analysis needs. In particular, the data base for the analysis of the activity efficiency of the organizations of the branch enterprises of PJSC «Ukrzaliznytsia» is the accounting, consolidated, sectoral and statistical reporting (for the past and previous to the past periods) [9, p. 85].

Between railway enterprises (PrJSC, which are subsidiaries of PJSC «UZ»), regional affiliates and their structural subdivisions, as well as branch offices, in connection with the territorial peculiarities of the organization of transportation, there is a complex mechanism for the formation of accounting information and financial statements with regard to internal economic calculations.

Specificity of financial relations predetermines the peculiarities of financial statements (Fig. 2).

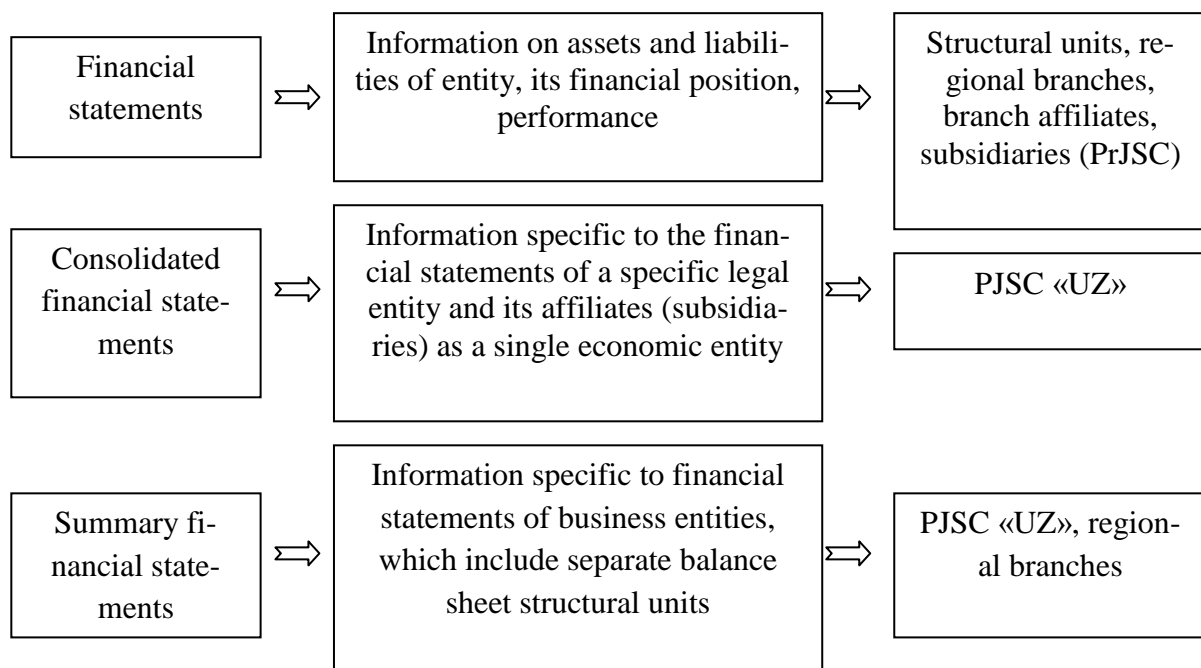


Fig. 2. Types of financial reporting on rail transport

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

PJSC «UZ» forms consolidated financial statements. The statements are prepared in accordance with international accounting standards and international financial reporting standards. In addition to the usual forms of consolidated financial statements, PJSC «UZ» in the Notes details the information by the following segments: «Freight transport» – includes freight transportation services provided by the industry; «Long-distance passenger transportation» – includes all services for inter-regional passenger transportation; «Suburban passenger transportation» – includes services for the carriage of passengers within a single region; «Subsidiary activities» – includes repair and maintenance services for rolling stock and other services; «All other segments» – includes services related to freight transport, suburban transport, construction, reconstruction and modernization of railroad bed and transport infrastructure, repairs and maintenance of various types of railway equipment and other companies in the industry.

Separate railways (regional branches) provide consolidated financial statements.

Railroad enterprises (factories, organizations) and structural subdivisions that are part of each railway, are allocated to a separate balance sheet and are not legal entities make financial statements.

The methodological principles for the compilation of consolidated financial statements and disclosure in it are determined by the sectoral regulatory framework of rail transport.

According to the financial statements, an analysis of the financial condition of the research object is carried out.

The best financial condition of an entity is determined by the elements of its economic activity: profitability; the optimal distribution of profits remaining at the disposal of the entity after the payment of taxes and compulsory deductions; availability of own financial resources (fixed assets and current assets) not lower than the minimum required level for the organization of the transport process (in the conditions of rail transport); rational placement of fixed and circulating assets (own and borrowed), liquidity of current assets. The signal indicator of the financial state is the solvency of an entity, that is, its ability to timely meet the payment requirements of suppliers of feedstock, materials, technology in accordance with economic

agreements, to return bank loans, to pay staff, make payments to the appropriate budget [8, с. 97].

The assessment of the financial status of an enterprise can be objectively carried out using a system of indicators that comprehensively characterizes the results of its activities and reflect the competence of management through the quality of the decisions taken. The standard method of analysing the financial condition involves several aspects of assessment:

- Assessment of the financial stability and independence of the enterprise, which is to determine the independence from external sources of financing;

- Analysis of the liquidity of the balance sheet (assets, that is, enterprise's property) and on this basis the degree of solvency of the enterprise is established;

- Profitability analysis (i.e., degree of profitability of activities, assets, capital of the enterprise);

- Analysis of business activity of the enterprise (i.e., efficiency of use of the entity's working capital);

- Construction of predictive models and enterprise bankruptcy probability estimation [6, p. 111].

In practice, certain researchers suggest using the following methods for assessing the financial condition of an entity:

1. The complex assessment method analyses and groups the indicators in two directions: stable financial condition and unsatisfactory one. With this method it is possible to separate the problem areas in the enterprise and identify the causes. The method is rather laborious; on its basis it is difficult to draw conclusions about the financial condition of the enterprise, because it has all the disadvantages and the coefficient method.

2. The integral method examines an assessment of the financial condition of an enterprise based on the calculation of the integral indicator, which is formed into a generalized indicator in terms of levels of solvency, financial independence and asset quality.

3. The non-destructive method involves calculating the value of the operating leverage and assessing the financial condition of the enterprise with a financial stability indicator, but it does not

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

give a complete assessment of the state of the enterprise.

4. Equilibrium method is based on the achievement of the equilibrium between liquid flows in the field of economic, investment and financial enterprise [8, p. 98].

The given methods, in our opinion, should be applied at the level of PJSC «UZ» as the main corporate centre. For regional branches, branch affiliates and structural divisions, the notion of assessing the financial condition according to the existing methods is rather conditional.

Thus, PJSC «UZ» provides branches and units with authorized capital, the management services can transfer, evaluate and revalue the fixed assets.

In addition, the production units have specific relations with the railways (now with the PJSC) regarding financial flows and financial planning.

Thus, revenues from the main activities (according to the Expenditure Nomenclature) of production units are still accrued within the established cost estimate, which determines the zero profitability of these divisions by main types of activity.

Financial results are generated only by auxiliary and other activities [6].

Some of the expenses of the main activity can be transferred to the service, distorting their size and structure; receivables and payables arise as a result of mutual settlements between services and divisions [4].

When analysing the results of the activity of the structural units of PJSC «Ukrzaliznytsia» it is necessary to take into account the fact that their financial statements do not show enough information for a complete and unbiased analysis. In particular, the reporting has not enough information to assess the liquidity and solvency of structural units and their financial independence. Nevertheless, it is not possible to assess these two indicators negatively, since the structural units are part of regional branches, and regional branches, in turn, are part of PJSC «Ukrzaliznytsia». That is why for the analysis of the activities of structural units it is necessary to use those indicators, for which there is enough reporting data for analysis [2, p. 27].

It should be borne in mind that separate structural units of the railways (now – production structural units) could never carry out investment and

financial activities as ordinary commercial entities, but had some autonomy in the adoption of current business decisions.

But now, at the current stage of corporatisation on the railway transport, production structural units (such as transportation directorates, permanent way divisions, locomotive service depots) have lost even this independence and have no right to enter into agreements with suppliers and contractors, which complicates the organization of material and technical supply, to hire employees, do not have accounts in banks and the right to carry out financial transactions.

In addition, in the process of corporatization and formation of PJSC «Ukrzaliznytsia», the authorized (registered) capital of these divisions was transferred to the authorized capital of PJSC «Ukrzaliznytsia». Such processes are reflected in the financial statements of the divisions and, of course, affect their financial condition. Thus, now the production units do not have the authorized capital, but such a capital turnover has no contradiction with the existing legislation.

Consequently, today's corporatization has considerably complicated the performance of the current economic activity of production units.

Any issues of logistics must be resolved by such a unit through the PJSC authorities; therefore, such a management structure is very cumbersome and ineffective.

Taking into account the foregoing, one can determine the following methodological problems of financial analysis of rail transport enterprises:

- 1) peculiarities of conducting the coefficient analysis and their interpretation;
- 2) contradictions between the results of the analysis on certain aspects of financial analysis;
- 3) problems of assessing the financial condition of regional branches and production structural subdivisions of PJSC «Ukrzaliznytsia» [6, p. 112–113].

Another feature of assessing the efficiency of the railway companies' operations is that at first the assessment is carried out at the level of railways (regional branches) and their production structural divisions. The effectiveness of the structural units of the railway is considered at the level of branch services of management of regional branches.

Based on the reports received from the structural units, the specialists of the relevant services

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

of the regional branch offices compile a summary table for assessing the results of the work of subordinated structural subdivisions. The tables compare the indicators of each structural unit with the normative value of the indicator, as well as the average value of the indicator in the sectoral service.

By comparing the performance indicators of structural units with normative values and average indicators of service, the assessment of the financial condition of each structural unit and its classification into one of the groups is carried out.

The analysis of the performance indicators of the production structural units of the railways is made by the report on the branch service, observing the relevant requirements. The branch service forwards this report, together with measures for the improvement of structural units, to the financial and economic service of the regional branch to draw up measures on the railways and the head office of PJSC «UZ» for monitoring implementation of measures on improvement of the management of production and economic activity.

As a result of the analysis of the aggregate of indicators, it is possible to identify the overall performance of the enterprises of PJSC «UZ» and their production structural divisions, as well as make certain conclusions about the following:

- Efficiency of use of the resources in each enterprise of PJSC «UZ», in each regional branch and their production departments;
- Efficiency of all branch services;
- Effectiveness of the decisions taken at all stages of management.

At the same time, in general, both in Ukraine and in railway transport, in particular, there is still no universal system of indicators that would meet international standards of economic activity and provide an opportunity to carry out a transparent analysis. Also, there is no single interpretation of the concept of «rail transport performance indicators», which would give a clear assessment of the effectiveness of work, which meets the needs and realities of the present [9, p. 87-88].

This leads to the need for constant, systematic financial analysis at the enterprise and improvement of its methods of conducting, building mathematical models and forming forecasts of development prospects.

Consequently, the specifics of the railway transport process and the complex financial and organizational relations within PJSC «Ukrzaliznytsia» require the creation of their own methodology for assessing the financial condition of regional branches and their production structural divisions. And in order to carry out the more informative analysis of the indicators of financial and property condition in the context of the industry reform it is necessary to use the experience of European railways, railways of the Eurasian direction and Canada [10; 11; 12].

Originality and practical value

The originality of the work is that the results allow us to consider financial reporting as informational and analytical provision of financial analysis taking into account the specifics of the corporate railway industry relations. The method of financial analysis should be consistent with the strategic objectives of the business entity, which are determined by the system of strategic management and investment and financial planning of the railway industry.

The assessment of the financial condition of an enterprise can be objectively carried out using a system of indicators, comprehensively characterizing the results of its activities and reflect the competence of management through the quality of the decisions taken.

Conclusions

The imperfection of the methods of enterprise financial condition assessment is not the only problem of the present. To date, there are also difficulties in conducting the financial condition analysis due to instability of the economy, crisis situation, and political uncertainty. In the conditions of constant change of information, many financial and economic indicators, calculated for a certain time, can continue to lose their value for analysis due to the instability of the national currency.

The main direction of ensuring the achievement of the financial equilibrium of the railway industry in modern conditions is to reduce the amount of consumed financial resources. The list of measures to improve the financial condition is

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

individual for each of the branches and companies and depends on the types of services provided, market conditions, regional infrastructure, ma-

nagement systems, operational and administrative costs, technical and technological features and other internal and external factors.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Богомолова, Н. І. Фінансова стратегія розвитку залізничного транспорту: сутність та особливості формування [Electronic resource] / Н. І. Богомолова // Ефективна економіка. – 2012. – № 1. – Available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=881>. – Title from the screen. – Accessed : 26.02.2018.
2. Божок, Н. О. Особливості аналізу результатів діяльності структурних підрозділів ПАТ «Українська залізниця» на прикладі локомотивного депо / Н. О. Божок, М. В. Полтавець, С. А. Кошман // Проблеми економіки транспорту : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2017. – Вип. 13. – С. 19–30. doi: 10.15802/pte.v0i13.107608.
3. Карачарова, К. А. Особливості формування фінансової стратегії підприємств залізничного транспорту [Electronic resource] / К. А. Карачарова // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2015. – № 51. – С. 35–39. – Available at: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:scn:031720:16374164>. – Title from the screen. – Accessed : 26.02.2018.
4. Матвієнко, В. В. Механізм державного управління розвитком залізничної галузі в Україні : дис. ... канд. наук з держ. упр. : 25.00.02 / Матвієнко Володимир Васильович ; Донец. держ. ун-т управління – Маріуполь, 2017. – 256 с.
5. Основні аспекти стратегії розвитку ПАТ «Укрзалізниця» 2017–2021 роки [Electronic resource]. – Available at: https://www.uz.gov.ua/files/file/Strategy_Presentation_fin1.pdf. – Title from the screen. – Accessed : 26.02.2018.
6. Пилипенко, О. В. Методологія стратегічного та економічного аналізу діяльності виробничих підрозділів ПАТ «Укрзалізниця» (на прикладі локомотивних депо) : монографія / О. В. Пилипенко. – Київ : ДЕДУТ, 2017. – 131 с.
7. Рекун, І. І. Основні напрями оцінки економічної стійкості ДП «Придніпровська залізниця» / І. І. Рекун // Проблеми економіки транспорту : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 10. – С. 105–113.
8. Сарапіна, О. А. Системний аналіз фінансового стану підприємства: методика та напрями вдосконалення / О. А. Сарапіна // Наук. вісн. Херсон. держ. ун-ту. Серія: Економічні науки : зб. наук. пр. – Херсон, 2013. – Вип. 1. – С. 96–99.
9. Талавіра, Є. В. Необхідність надання оцінки ефективності роботи підприємств залізничного транспорту в сучасних умовах / Є. В. Талавіра, О. В. Семенік // Зб. наук. пр. Держ. екон.-технол. ун-ту трансп. Серія: «Економіка і управління». – Київ, 2012. – Вип. 21/22, ч. 1. – С. 84–88.
10. Financial Analysis of Railway Construction Projects Based on Network / Fei Biao Bai, Rong Hua Hou, Hua Liu, Jian Mei Zhu // Applied Mechanics and Materials. – 2011. – Vol. 97/98. – P. 463–470. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.97-98.463.
11. GB rail industry financial information 2013-14 [Electronic resource]. – 2015. – P. 1–47. – Available at: http://orr.gov.uk/_data/assets/pdf_file/0005/16997/gb-rail-industry-financials-2013-14.pdf. – Title from the screen. – Accessed : 26.02.2018.
12. Kravchenko, O. Analysis of the financial risks of the Ukrainian railway transport / O. Kravchenko // Economy of Industry. – 2017. – Vol. 80. – Iss. 4. – P. 47–62. doi: 10.15407/econindustry2017.04.047.
13. Vochozka, M. Financial Analysis of an Average Transport Company in the Czech Republic / M. Vochozka, Z. Rowland, J. Vrbka // Naše more. – 2016. – Vol. 63. – Iss. 3. – P. 227–236. doi: 10.17818/NM/2016/SI28.

О. А. ТОПОРКОВА¹, Л. А. ШИЛО^{2*}

¹Каф. «Облік і оподаткування», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 69, ел. пошта toporkova1975@gmail.com, ORCID 0000-0003-0956-3638

^{2*}Каф. «Облік і оподаткування», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 69, ел. пошта 1954shilo@gmail.com, ORCID 0000-0003-3235-1377

АНАЛІТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФІНАНСОВОГО АНАЛІЗУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Мета. Робота присвячена систематизації основних напрямів фінансового аналізу з урахуванням специфіки залізничної галузі. **Методика.** У процесі дослідження використані методи аналізу й синтезу для вивчення змісту й основних положень публікацій за обраною темою. **Результати.** Залізнична галузь має специфічну систему фінансових відносин. Знаючи об'єктивні закономірності розвитку технологічної системи галузі, можна створити відповідний механізм керування нею та її ресурсами. Вибір необхідного методу аналізу та системи показників, що забезпечить усебічне вивчення та представлення діяльності підприємства, є основоположним для прийняття управлінських рішень. Важливим елементом аналітичної роботи для потреб сучасного менеджменту є фінансовий аналіз, за допомогою якого можна визначити місце підприємства серед інших суб'єктів галузі, оцінити структуру капіталу й динаміку розвитку підприємства. Отже, якість ухвалених рішень цілком залежить від аналітичного обґрунтування. Фінансовий аналіз здійснюють за даними певних груп економічних показників, які дають загальну оцінку фінансового стану підприємства, прибутковості його діяльності й довгострокової платоспроможності. Аналіз фінансово-економічного стану є важливою складовою ефективного управління формуванням, розміщенням і використанням ресурсів залізничного транспорту. Особливості проведення та інтерпретації результатів аналізу фінансового стану структурних підрозділів ПАТ «Укрзалізниця» – регіональних, галузевих філій, виробничих підрозділів (за наявності в них балансу), – пояснюються специфікою ведення їх господарської діяльності. **Наукова новизна.** Отримані результати дозволяють розглядати фінансову звітність як інформаційно-аналітичне забезпечення фінансового аналізу з урахуванням специфіки корпоративних відносин залізничної галузі. Методика фінансового аналізу має бути узгоджена зі стратегічними цілями суб'єкта господарювання, які визначає система стратегічного менеджменту та інвестиційно-фінансового планування залізничної галузі. **Практична значимість.** Оцінку фінансового стану підприємства можна об'єктивно здійснити за допомогою системи показників, що враховують технологічну специфіку залізничного транспорту, комплексно характеризують результати його діяльності та відображають компетентність керівництва через якість прийнятих рішень.

Ключові слова: фінансова звітність; аналіз; аналітичне забезпечення; фінансовий стан

Е. А. ТОПОРКОВА¹, Л. А. ШИЛО^{2*}

¹Каф. «Учет и налогообложение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 69, эл. почта toporkova1975@gmail.com, ORCID 0000-0003-0956-3638

^{2*}Каф. «Учет и налогообложение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 69, эл. почта 1954shilo@gmail.com, ORCID 0000-0003-3235-1377

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФИНАНСОВОГО АНАЛИЗА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Цель. Работа посвящена систематизации основных направлений финансового анализа с учетом специфики железнодорожной отрасли. **Методика.** В процессе исследования использованы методы анализа и синтеза для изучения содержания и основных положений публикаций по избранной теме. **Результаты.** Железнодорожная отрасль имеет специфическую систему финансовых отношений. Зная объ-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ективные закономерности развития технологической системы отрасли, можно создать соответствующий механизм управления ею и ее ресурсами. Выбор необходимого метода анализа и системы показателей, которые обеспечат всестороннее изучение и представление деятельности предприятия, являются основополагающим для принятия управленческих решений. Важным элементом аналитической работы для нужд современного менеджмента является финансовый анализ, с помощью которого можно определить место предприятия среди других субъектов отрасли; оценить структуру капитала и динамику развития предприятия. Итак, качество принятых решений целиком зависит от аналитического обоснования. Финансовый анализ осуществляют на основании определенных групп экономических показателей, которые дают общую оценку финансового состояния предприятия, прибыльности его деятельности и долгосрочной платежеспособности. Анализ финансово-экономического состояния является важной составляющей эффективного управления формированием, размещением и использованием ресурсов железнодорожного транспорта. Особенности проведения и интерпретации результатов анализа финансового состояния структурных подразделений ПАТ «Укрзалізниця» – региональных, отраслевых филиалов, производственных подразделений (при наличии у них баланса), объясняются спецификой ведения их хозяйственной деятельности. **Научная новизна.** Полученные результаты позволяют рассматривать финансовую отчетность как информационно-аналитическое обеспечение финансового анализа с учетом специфики корпоративных отношений железнодорожной отрасли. Методика финансового анализа должна быть согласована со стратегическими целями субъекта хозяйствования, которые определяет система стратегического менеджмента и инвестиционно-финансового планирования железнодорожной отрасли. **Практическая значимость.** Оценка финансового состояния предприятия можно объективно осуществить с помощью системы показателей, которые учитывают технологическую специфику железнодорожного транспорта, комплексно характеризуют результаты его деятельности и отображают компетентность руководства посредством качества принятых решений.

Ключевые слова: финансовая отчетность; анализ; аналитическое обеспечение; финансовое состояние

REFERENCES

1. Bohomolova, N. I. (2012). Financial strategy of the railway: essence and features formation. *Efektivna ekonomika*, 1. Retrived from <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=881>. (In Ukrainian)
2. Bozhok, N. O., Poltavets, M. V., & Koshman, S. A. (2017). Features of activity analysis at structural divisions of PJSC ukrainian railways at example of locomotive depot. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu im. ak. V. Lazariana «Problemy ekonomiky transportu»*, 13, 19-30. doi: 10.15802/pte.v0i13.107608. (In Ukrainian)
3. Karacharova, K. A. (2015). Osoblyvosti formuvannia finansovoi stratehii pidpriemstv zaliznychnoho transportu. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti*, 51, 35-39. Retrived from <https://EconPapers.repec.org/RePEc:scn:031720:16374164>. (In Ukrainian)
4. Matviienko, V. V. (2017). *Mekhanizm derzhavnoho upravlinnia rozvytkom zaliznychnoi haluzi v Ukraini* (Dysertatsiia kandydata tekhnichnykh nauk) Donetskyy derzhavnyi universytet upravlinnia, Mariupol. (In Ukrainian)
5. Osnovni aspekty stratehii rozvytku PAT «Ukrzaliznytsia» 2017–2021 roky. Retrived from https://www.uz.gov.ua/files/file/Strategy_Presentation_fin1.pdf. (In Ukrainian)
6. Pylypenko, O. V. (2017). *Metodolohiia stratehichnoho ta ekonomichnoho analizu diialnosti vyrobnychykh pidrozdiliv PAT «Ukrzaliznytsia» (na prykladi lokomotyvnykh depo): Monohrafiia*. Kyiv. (In Ukrainian)
7. Rekun, I. I. (2015). Basic directions economic assessment of stability state enterprise «Dnieper railway». *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu im. ak. V. Lazariana «Problemy ekonomiky transportu»*, 10, 105-113. (In Ukrainian)
8. Sarapina, O. A. (2013). Systemnyi analiz finansovoho stanu pidpriemstva: metodyka ta napriamy vdoshkonnennia. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriia: Ekonomichni nauky: zbirnyk naukovykh prats*, 1, 96-99. (In Ukrainian)
9. Talavira, Y. V. (2012). Neobkhidnist nadання otsinky efektyvnosti roboty pidpriemstv zaliznychnoho transportu v suchasnykh umovakh. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tekhnolohichnoho universytetu transportu. Seriia: «Economika i upravlinnia»*, 21/22 (1), 84-88. (In Ukrainian)
10. Fei Biao Bai, Rong Hua Hou, Hua Liu, & Jian Mei Zhu (2011). Financial Analysis of Railway Construction Projects Based on Network. *Applied Mechanics and Materials*, 97/98, 463-470. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.97-98.463. (In English)

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

11. GB rail industry financial information 2013-14 (2015). Retrived from: http://orr.gov.uk/__data/assets/pdf_file/0005/16997/gb-rail-industry-financials-2013-14.pdf. (In English)
12. Kravchenko, O. (2017). Analysis of the financial risks of the Ukrainian railway transport. *Economy of Industry*, 80(4), 47-62. doi: 10.15407/econindustry2017.04.047. (In English)
13. Vochozka, M., Rowland, Z., & Vrbk, J. (2016). Financial Analysis of an Average Transport Company in the Czech Republic. *Naše more*, 63(3), 227-236. doi: 10.17818/NM/2016/SI28. (In English)

Prof. V. V. Bobyl, Doctor of Economics (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Nov. 17, 2017

Accessed: March 14, 2018

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.21.4 : 629.46

И. А. ЕЛОВОЙ^{1*}, Е. Н. ПОТЫЛКИН^{2*}

^{1*}Каф. «Управление грузовой и коммерческой работой», Белорусский государственный университет транспорта, ул. Кирова, 34, Гомель, Республика Беларусь, 246653, тел. +37 (529) 734 11 40, эл. почта ugkr@belsut.gomel.by, ORCID 0000-0001-9178-563X

^{2*}Каф. «Управление грузовой и коммерческой работой», Белорусский государственный университет транспорта, ул. Кирова, 34, Гомель, Республика Беларусь, 246653, тел. +37 (529) 808 77 87, эл. почта gkrt@inbox.ru, ORCID 0000-0003-3872-8243

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ОТСТОЯ МЕЖДУ ПУТЯМИ ОБЩЕГО И НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Цель. Особую актуальность в условиях увеличения доли частных вагонов приобретают задачи выбора оптимальных режимов взаимной работы путей общего и необщего пользования. Поэтому целью настоящей работы является разработка подхода к обоснованию выбора режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта с позиции распределения вагонов, направляемых в отстой, между железнодорожными путями общего и необщего пользования. **Методика.** Для достижения поставленной цели использованы методы научного анализа и синтеза, теории графов, а также экспериментально-статистические методы составления моделей. **Результаты.** Получена зависимость потребной вместимости железнодорожных путей, в которой учитывается доля частных вагонов в общем парке, поступающих на места необщего пользования. Предложена схема выбора места размещения вагонов для обоснования выбора режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта с учетом имеющегося в наличии путевого оснащения и целесообразности его дальнейшего развития. **Научная новизна.** Задача в такой постановке до настоящего времени не решена, что и определяет актуальность и новизну исследования в данном направлении. Полученная формула по определению потребной вместимости железнодорожных путей, в отличие от существующих способов ее расчета, учитывает влияние случайного характера обслуживания перевозочных средств на местах необщего пользования, а также доли частных вагонов в общем парке. Предложен метод выбора места размещения частного подвижного состава, используемый для обоснования выбора режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта с учетом имеющегося в наличии путевого оснащения и целесообразности его дальнейшего развития. Отличительной особенностью представленного метода является учет интересов грузовладельца, как стороны, в наибольшей степени заинтересованной в эффективной взаимной работе железнодорожного транспорта общего и необщего пользования. **Практическая значимость.** На основании результатов исследования могут быть получены рекомендации по выбору режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта в части распределения вагонов, направляемых для отстоя, между железнодорожными путями общего и необщего пользования. Это позволит уменьшить издержки грузовладельцев за счет минимизации экономических и временных потерь и, как следствие, сделать услуги железнодорожного транспорта более привлекательными для клиентуры, что приведет к повышению его конкурентоспособности на рынке транспортных услуг.

Ключевые слова: железнодорожный путь необщего пользования; частный вагон; размещение; режим взаимодействия

Введение

Взаимодействие железнодорожного транспорта и других отраслей производства и, прежде

всего, железных дорог с организациями-грузовладельцами, собственниками подвижного состава, промышленными предприятиями в зна-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

чительной мере определяет уровень развития транспортного комплекса страны. Как известно, серьезные недостатки в практике взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта наносят значительный ущерб экономике государства, приводят к нарушениям ритмичности и сроков доставки грузов, к вынужденным изменениям технологического процесса производства предприятий, к дополнительным трудовым затратам на излишнюю погрузочную работу, к перепростоям подвижного состава. Устранение этих недостатков является важным резервом освоения объема перевозок, снижения транспортных издержек участников перевозочного процесса [8].

Проблема эффективной организации работы промышленного и магистрального железнодорожного транспорта всегда была в центре внимания теории и практики эксплуатации. Теоретические основы вопросов взаимодействия путей общего и необщего пользования разработаны академиком В. Н. Образцовым в 50-е годы прошлого столетия. В период с середины до конца 20-го века в этом направлении проводились исследования такими учеными, как В. М. Акулиничев, Н. П. Берлин, О. В. Билогуров, А. К. Головнич, А. Т. Дерибас, А. В. Комаров, Л. С. Крохин, В. А. Кудрявцев, В. К. МIRONENKO, В. Я. Негрей, А. Д. Омельченко, В. В. Повороженко, Н. В. Правдин, И. Б. Сотников, А. А. Смехов, Г. А. Циркунов, П. А. Яновский, В. П. Ярошевич и др. [7, 8, 11, 13]. Среди современных ученых, занимающихся данной проблематикой, можно выделить на постсоветском пространстве Р. В. Вернигору, Д. Н. Казаченко, П. В. Бех, Г. И. Нестеренко, И. А. Елового, Л. С. Жарикову, Н. В. Халипову, И. А. Баранкову [2–5, 14, 15, 16], в странах дальнего зарубежья М. Bababeik, М. М. Nasiri, А. А. Khaled, Jin M., L. Mussone, Z. Zhang [17–20].

Поездная и грузовая работа железных дорог стран Содружества Независимых Государств в последние годы испытывает затруднения в связи с переизбытком вагонных парков на ряде полигонов сети. Так, в период роста грузовых перевозок, начиная с 2003 года, российский парк грузовых вагонов увеличивался темпами, в среднем в 4,3 раза опережающими темпы прироста протяженности приемо-отправочных и сортировочных путей станций.

Это привело к тому, что с началом спада перевозок нахождение на сети невостробованных пустых вагонов вызвало многочисленные нарушения взаимодействия работы станций и участков, невосполнимые потери пропускной способности, неоправданные расходы. В связи с чем профессорами А. Ф. Бородиным и Е. А. Сотниковым в [1] разработана методика оценки взаимосвязей между вместимостью путевого развития полигонов, емкостью вагонных парков, пропускной способностью и качественными показателями эксплуатационной работы и оценка возможностей отстоя частных вагонов на станциях. Хотя рациональные соотношения вместимости путей и рабочего парка вагонов определяются для путей станционных парков (приемо-отправочных, сортировочных, сортировочно-отправочных, погрузочно-выгрузочных, выставочных), внепарковых станционных путей (главных в пределах станций, соединительных, ходовых, вытяжных, а также путей для отстоя вагонов и проч.), однако данный расчет для железнодорожных путей необщего пользования методикой не предусмотрен. Поэтому актуальными остаются проблемы определения потребной вместимости путей необщего пользования в современных условиях, а также распределения путевых емкостей для отстоя подвижного состава между железнодорожным транспортом общего и необщего пользования.

Цель

Исследованию взаимной работы промышленного и магистрального железнодорожного транспорта всегда уделялось повышенное внимание, как со стороны практиков, так и со стороны ученых-транспортников. Рост интереса к этим проблемам со стороны участников перевозочного процесса в настоящее время обусловлен развитием конкуренции в сфере оперирования грузовыми вагонами и ростом количества собственников подвижного состава на фоне неизменного состояния инфраструктуры путей необщего пользования, унаследованной от Советского Союза. Поэтому целью настоящей работы является разработка подхода к обоснованию выбора режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта с позиции распределения отстоя вагонов между железнодорожными путями общего и необщего пользования.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Методика

Для достижения поставленной цели при проведении данного исследования использованы методы научного анализа и синтеза, теории графов, а также экспериментально-статистические методы составления моделей.

Результаты

В настоящее время на железных дорогах стран СНГ наблюдается рост количества частного подвижного состава и его доли в общем парке вагонов. Изменение структуры вагонопотока, несоответствие технологии обслуживания мест необщего пользования их техническому оснащению, значительное увеличение количества операторов подвижного состава привели к размещению частного подвижного состава на железнодорожных путях. Основные причины отстоя частных вагонов сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Причины и место отстоя частного подвижного состава

Table 1

Causes and location of private rolling stock parking

Место временного размещения	Причины временного размещения вагонов	
	груженых	пустых
Железнодорожная станция	Доставка груза «точно в срок»	По договору на временное размещение пустых вагонов
Железнодорожный путь необщего пользования	Наличие приоритета в обслуживании инвентарных вагонов	1) наличие приоритета в обслуживании инвентарных вагонов; 2) договор на временное размещение разгруженных вагонов; 3) не согласованность перевозки по тарифам

Частные вагоны разместить можно как на путях общего, так и необщего пользования. При этом владелец инфраструктуры за установленную плату может отдавать в аренду железнодорожные пути собственнику подвижного состава [10]. Однако, количество таких путей ограничено, к тому же они территориально рассредоточены по сети Белорусской железной дороги.

Для установления потребной вместимости железнодорожных путей необходимо определить средний простой вагонов.

На пути необщего пользования за сутки поступает вагонов в количестве

$$m_{\text{сут}} = 24\lambda, \quad (1)$$

где λ – интенсивность поступления вагонов, ваг/ч.

Потребная вместимость путей необщего пользования при заданной интенсивности составляет

$$m = \lambda t_{\text{ср}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{ср}}$ – средний простой вагонов на путях необщего пользования, ч.

При безномерном способе учета простоя вагонов, который применяется, как правило, на местах общего, необщего пользования с вагонооборотом 50 и более вагонов в сутки,

$$t_{\text{ср}} = \frac{B}{O_{\text{н}} + \Pi} = \frac{B}{O_{\text{к}} + Y}, \quad (3)$$

где B – вагоно-часы нахождения вагонов на путях необщего пользования, ваг-ч; $O_{\text{н}}$ – остаток вагонов на начало отчетных суток, вагонов; Π – количество прибывших на пути необщего пользования вагонов, вагонов; $O_{\text{к}}$ – остаток вагонов на конец отчетных суток, вагонов; Y – количество убывших с путей необщего пользования вагонов, вагонов.

Полученное значение $t_{\text{ср}}$ представляет собой среднюю продолжительность нахождения вагонов на путях необщего пользования, включая частные и инвентарные железнодорожные перевозочные средства. Если доля частных вагонов в общем парке составляет α_c , то интенсивность их поступления на места необщего пользования

$$\lambda_c = \lambda \alpha_c, \quad (4)$$

соответственно для подвижного состава инвентарного парка

$$\lambda_{\text{и}} = \lambda(1 - \alpha_c), \quad (5)$$

Следовательно, потребная вместимость железнодорожных путей для обслуживания вагонов частного парка

$$m_c = \lambda \alpha_c t_{\text{ср}}^c, \quad (6)$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

инвентарного парка

$$m_i = \lambda(1 - \alpha_c) t_{cp}^H, \quad (7)$$

где t_{cp}^c, t_{cp}^H – средняя продолжительность нахождения вагонов на путях необщего пользования соответственно вагонов приватного и инвентарного парков, ч.

Вагоно-часы нахождения вагонов на путях необщего пользования определяются по формуле

$$B = \sum t_i m_i, \quad (8)$$

В практике работы места необщего пользования для маневровых локомотивов, как и фронты погрузки – выгрузки обычно предназначены для потоков вагонов, разных по принадлежности. При поступлении N входящих потоков с разными приоритетами среднее время пребывания по требованию рассчитывается как k -го приоритета в системе

$$t_k = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\rho_i}{\mu_i} (v_{vxi}^2 + v_{обсл\ i}^2)}{(1 - \sum_{j=1}^{k-1} \rho_j)(1 - \sum_{j=1}^k \rho_j)} + \frac{1}{\mu_k}, \quad (9)$$

где ρ_i – загрузка обслуживающего устройства требованиями i -го потока; v_{vxi} – коэффициент вариации входящего i -го потока; $v_{обсл\ i}$ – коэффициент вариации продолжительности обслуживания i -го потока; μ_i – интенсивность обслуживания заявки i -ого потока, ваг/ч,

$$\mu_i = \frac{1}{t_{обсл\ i}}, \quad (10)$$

где $t_{обсл\ i}$ – загрузка обслуживающего устройства требованиями i -го потока [6].

Для определения закономерностей изменения коэффициентов вариации входящего потока и обслуживания на примере промышленного предприятия рассмотрена продолжительность временных составляющих схемы доставки при взаимодействии магистрального и промышленного железнодорожного транспорта. В результате обработки эмпирических данных определены основные статистические показатели исследуемых случайных величин, которые сведены в таблицы 2, 3.

Таблица 2

Числовые характеристики интервалов времени между подачами вагонов в цеха предприятия

Table 2

Numerical characteristics of the time intervals between car supply to the shop floor of the enterprise

Показатель	Количественные характеристики цехов			
	Карбо-мид-II	Сульфат	Бензол	Мазут
Математическое ожидание, мин	454,4	332,2	641	560
Дисперсия выборки,	89 121	$64 \cdot 10^3$	$104 \cdot 10^3$	$155 \cdot 10^3$
Объем выборки	144	241	256	158
Коэффициент вариации	0,66	0,76	0,50	0,70
Выборочная оценка b_1	$2,1 \cdot 10^{-15}$	$7,6 \cdot 10^{-16}$	$3,6 \cdot 10^{-16}$	$4,8 \cdot 10^{-16}$
Выборочная оценка b_2	$9,9 \cdot 10^{-11}$	$-3,3 \cdot 10^{-10}$	$-4 \cdot 10^{-11}$	$9,5 \cdot 10^{-12}$

Таблица 3

**Числовые характеристики продолжительности ожидания
уборки вагонов из цехов предприятия**

Table 3

**Numerical characteristics of the waiting time for cars removal
from the shop floors of the enterprise**

Показатель	Значения числовых характеристик для цехов			
	Карбо-мид-II	Сульфат аммония	Бензол	Мазут
Математическое ожидание, мин	35,97	73,3	33,0	29
Дисперсия выбор- ки	947,2	4 823,3	906	317
Объем выборки	138	224	215	179
Коэффициент ва- риации	0,86	0,95	0,91	0,61
Выборочная оцен- ка b_1	$3,77 \cdot 10^{-9}$	$1,45 \cdot 10^{-11}$	$4,65 \cdot 10^{-9}$	$7,6 \cdot 10^{-8}$
Выборочная оцен- ка b_2	$2,34 \cdot 10^{-6}$	$1,44 \cdot 10^{-8}$	$2,85 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$

Для того чтобы установить, к какому закону распределения следует отнести случайные величины, использованы области в плоскости β_1 и β_2 для различных распределений, которые определяются на основании выборочных оценок b_1 и b_2 :

$$\sqrt{b_1} = \frac{m_3}{(m_2)^{3/2}}; \quad (11)$$

$$b_2 = \frac{m_4}{(m_2)^2}, \quad (12)$$

где m_2 , m_3 , m_4 – соответственно второй, третий, четвертый центральные моменты относительно математического ожидания [9].

Далее полученные результаты выборочных оценок b_1 , b_2 , могут быть представлены на графике, как точка А с координатами $(b_1; b_2)$ [12]. При этом, если точка А будет находиться на достаточно близком расстоянии от кривой или области, представленной на графике, то это распределение может быть использовано для описания эмпирических данных.

В ходе выполнения расчетов получены значения выборочных оценок b_1 и b_2 . Точки, полученные из комбинаций значений b_1 и b_2 , нане-

сенные на график, оказались в критической области, что позволяет сделать вывод о том, что исследуемые случайные величины принимают недетерминированные значения.

При применении такого метода описания эмпирических данных необходимо учитывать два важных ограничения. Во-первых, для любого множества данных b_1 и b_2 являются лишь оценками и подвержены колебаниям от выборки к выборке, эти оценки очень чувствительны к небольшому числу крайних значений, поэтому данный метод необходимо использовать с осторожностью, особенно, когда число наблюдений невелико, например, меньше 200. Во-вторых, в общем случае форма распределения не определяется однозначно его нормированными показателями асимметрии и островершинности [11].

Большие возможности для описания колебаний случайных величин обеспечивает система кривых Пирсона, задаваемая дифференциальным уравнением:

$$\frac{dP(x)}{dx} = \frac{x - a}{b_0 + b_1x + b_2x^2} P(x), \quad (13)$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

где a, b_0, b_1, b_2 – постоянные параметры распределения, которые вычисляются методом моментов [11].

Основные типы кривых Пирсона представлены на номограмме для определения типа кривой в зависимости от параметров β_1 и β_2 [11]. Определение параметров β_1 и β_2 аналогично расчету ранее рассмотренных b_1, b_2 . Точки, полученные из комбинаций β_1 и β_2 , нанесенные на номограмму, оказались отдаленными от основных типов кривых Пирсона, представленных на ней. Это свидетельствует о том, что изучаемые временные элементы схемы доставки грузов принимают недетерминированные значения, а отклонения от их средних значений носят случайный характер. Данное положение было подтверждено после применения программных пакетов Microsoft Excel, Statgraphics к рассматриваемым случайным величинам.

Кроме того, анализ собранных статистических данных показал, что каждое место необщего пользования имеет свое значение коэффициентах $v_{обсл}$, которое, как правило, изменяется в пределах от 0,2 до 0,4 [9].

Рассмотрен случай, когда на пути необщего пользования поступает 2 транспортных потока: вагоны частного, инвентарного парков. При одинаковой интенсивности обработки поступающих требований ($\mu_c = \mu_{ин} = \mu$) средняя загрузка устройства, обслуживающего потоки частных вагонов

$$\rho_c = \frac{\lambda \alpha_c}{\mu} = \rho \alpha_c, \quad (14)$$

инвентарных

$$\rho_{ин} = \frac{\lambda(1 - \alpha_c)}{\mu} = \rho(1 - \alpha_c). \quad (15)$$

Следовательно, средняя продолжительность пребывания частных вагонов в системе

$$t_i^c = t_{обсл}^c \left[1 + \frac{\rho(v_{вхс}^2 + v_{обслс}^2)}{(1 - \rho)(1 - \rho \alpha_c)} \right], \quad (16)$$

инвентарных

$$t_i^{ин} = t_{обсл}^{ин} \left[1 + \frac{\rho(v_{вхи}^2 + v_{обсли}^2)}{(1 - \rho)} \right], \quad (17)$$

где $v_{вхс}, v_{вхи}$ – коэффициент вариации входящего потока вагонов соответственно частного и инвентарного парков; $v_{обслс}, v_{обсли}$ – коэффициент вариации продолжительности обслуживания потока вагонов соответственно частного и инвентарного парков.

На основании формул (2), (3), (6), (7), (16), (17) установлено, что требуемая вместимость железнодорожных путей для обслуживания вагонов частного парка составляет

$$m_c = \frac{\sum m_i^c t_{обслс}^i \left[1 + \frac{\rho(v_{вхс}^2 + v_{обслс}^2)}{(1 - \rho)(1 - \rho \alpha_c)} \right]}{O_{ин}^c + \Pi^c} \cdot \lambda \alpha_c, \quad (18)$$

инвентарного

$$m_{ин} = \frac{\sum m_i^{ин} t_{обсли}^i \left[1 + \frac{\rho(v_{вхи}^2 + v_{обсли}^2)}{(1 - \rho)} \right]}{O_{ин}^{ин} + \Pi^{ин}} \cdot \lambda(1 - \alpha_c), \quad (19)$$

где $O_{ин}^c, O_{ин}^{ин}$ – остаток соответственно частных и инвентарных вагонов на начало отчетных суток, вагонов; $\Pi^c, \Pi^{ин}$ – количество прибывших на пути необщего пользования соответственно частных и инвентарных вагонов, вагонов.

Общая требуемая вместимость

$$m = m_c + m_{ин}. \quad (20)$$

Примерный график зависимости требуемой вместимости железнодорожных путей от доли частных вагонов в общем потоке при различных средних значениях коэффициента вариации входящего потока $v_{вх}$ представлен на рисунке 1.

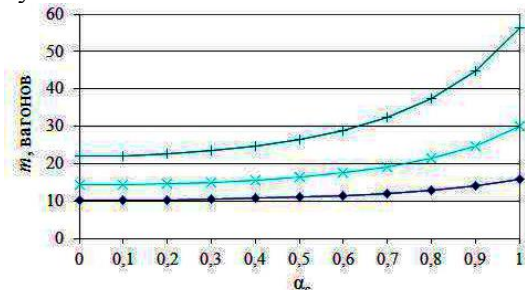


Рис. 1. График зависимости требуемой вместимости путей от доли частных вагонов в общем потоке

Fig. 1. The dependence graph of the required capacity of the tracks on the share of private cars in the total flow

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Как видно из рисунка 1, рост доли частных вагонов в общем потоке влечет увеличение суммарной потребной длины железнодорожных путей. Расчетная потребная вместимость железнодорожных путей может оказаться больше имеющейся в наличии на местах необ-

щего пользования. В таком случае часть частных вагонов следует направлять в отстой, на пути общего пользования. На рисунке 2 представлены варианты временного размещения вагонов грузоотправителей, грузополучателей.

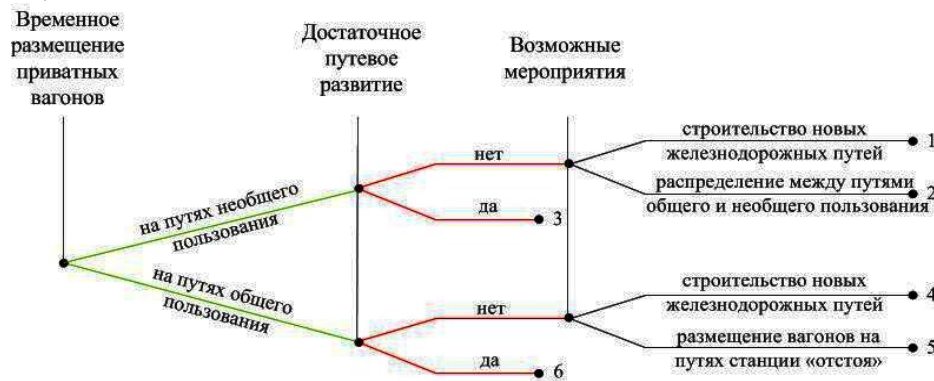


Рис. 2. Варианты временного размещения вагонов грузоотправителей, грузополучателей

Fig. 2. Temporary location options of cars of consignors, consignees

В соответствии с рисунком 2 частные железнодорожные перевозочные средства разместить можно на путях общего, необщего пользования. Использование технологических путей общего и необщего пользования для отстоя вагонов грузоотправителей, грузополучателей вызывает дополнительную маневровую работу по причине временной невозможности их использования по назначению или их специализации. Распределение частного подвижного состава, направляемого в отстой, между железнодорожными путями общего и необщего пользования требует корректировки организации взаимодействия промышленного и магистрального железнодорожного транспорта, то есть изменения или выбора другого режима их взаимодействия. Причем в современных условиях работы железнодорожного транспорта при обосновании выбора режима следует учитывать издержки грузовладельца в пределах логистической схемы доставки. Решение задачи по выбору режима взаимной работы магистрального и промышленного железнодорожного транспорта с позиции распределения вагонов, направляемых в отстой между железнодорожными путями общего и необщего пользования, позволит свести к минимуму маневровую работу, простои вагонов, а также транспортно-логистические издержки в целом. В соответ-

ствии с рисунком 2 разработана схема выбора места временного размещения вагонов и, соответственно, режима взаимной работы промышленного и магистрального железнодорожного транспорта, которая представлена на рисунке 3.

Согласно представленной на рисунке 3 схеме выбор режима взаимодействия осуществляется на основании расчетов его основных параметров в соответствии с функцией оптимизации. При этом учитывается имеющееся в наличии путевое оснащение и целесообразность его дальнейшего использования. Функция оптимизации должна учитывать интенсивность поступления потока вагонов на железнодорожные пути необщего пользования, загрузку обслуживающих устройств, неравномерность процессов выполнения операций в пределах логистической схемы доставки. Таким образом, целевая функция, которая представляет собой минимальные издержки в пределах логистической схемы доставки продукции на одну тонну груза, в общем виде выглядит следующим образом:

$$F=f(\rho, \lambda, K_{\text{нер}}) \rightarrow \min, \quad (21)$$

где ρ – средняя загрузка маневровых локомотивов, обслуживающих место необщего пользования; λ – интенсивность поступления потока вагонов на ПНП, ваг/ч; $K_{\text{нер}}$ – коэффициент неравномерности.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

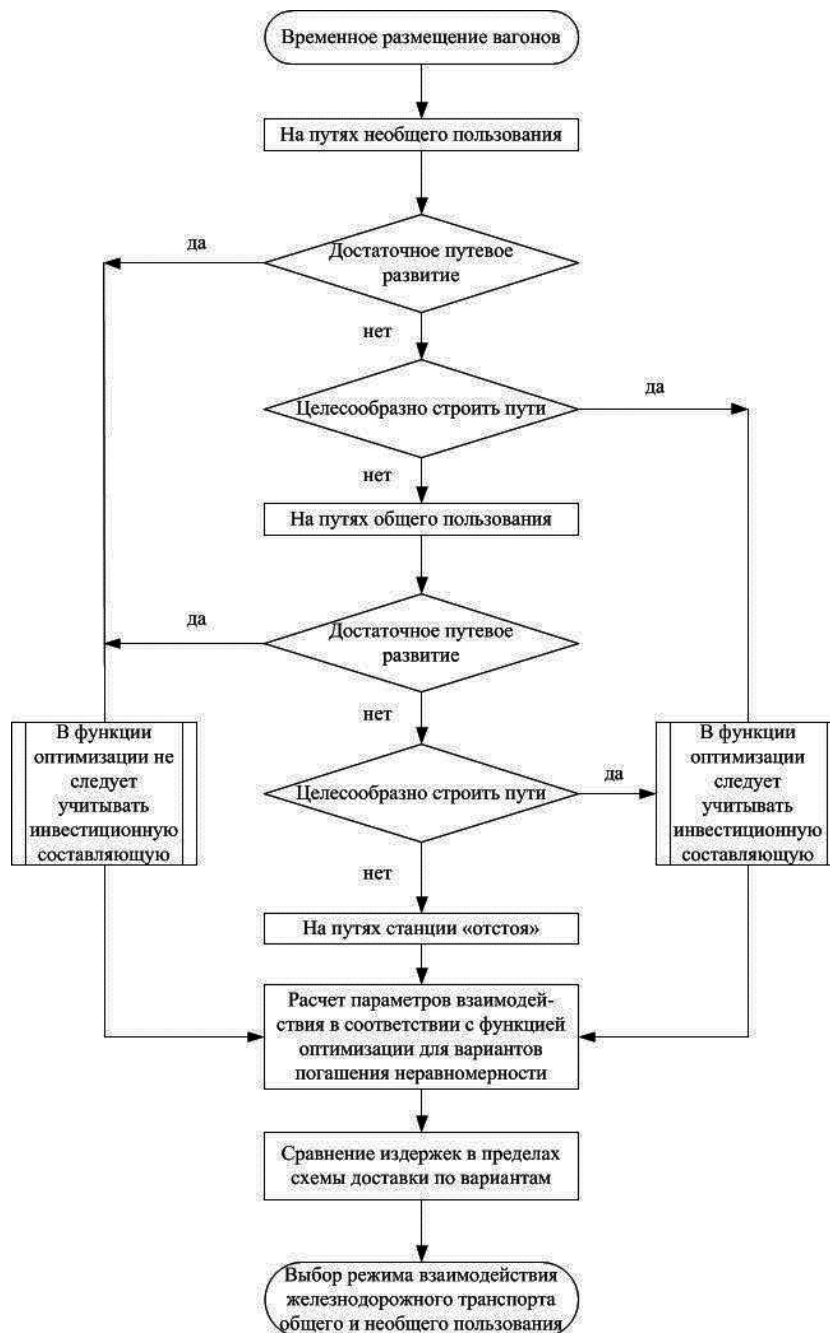


Рис. 3. Схема выбора места временного размещения частного подвижного состава

Fig. 3. Scheme for choosing the place of temporary location of private rolling stock

Руководствуясь представленной на рисунке 3 схемой, могут быть получены рекомендации по выбору режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта, а именно, варианты распределения вагонов, направляемых во временное размещение между железнодорожными путями общего и необщего пользования.

Научная новизна и практическая значимость

Следует отметить, что задача в представленной постановке до настоящего времени не решена, чем и определяется новизна исследования в данном направлении. Получена форму-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ла по определению потребной вместимости железнодорожных путей, в отличие от существующих способов ее расчета, учитывает влияние случайного характера обслуживания перевозочных средств на местах необщего пользования, а также доли частных вагонов в общем парке. Предложен метод выбора места размещения частного подвижного состава, используемый для обоснования выбора режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта с учетом имеющего в наличии путевого оснащения и целесообразности его дальнейшего развития. Отличительной особенностью представленного метода является учет интересов грузовладельца, как стороны, в наибольшей степени заинтересованной в эффективной взаимной работе железнодорожного транспорта общего и необщего пользования.

Практическая значимость работы состоит в том, что на основании результатов исследования можно получить рекомендации по выбору режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта в части распределения вагонов, направляемых для отстоя между железнодорожными путями общего и необщего пользования. Это позволит уменьшить издержки грузовладельцев за счет сведения к минимуму экономических и временных потерь и, как следствие, сделает услуги железнодорожного транспорта более привлекательными для клиентуры, что приведет к повышению его конкурентоспособности на рынке транспортных услуг

Выводы

По результатам представленных в работе исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Изменение структуры вагонопотока, несоответствие технологии обслуживания мест необщего пользования техническому оснащению, регулирование частных вагонов экспедитором, а не диспетчерским аппаратом – все это привело к возникновению факторов, обуславливающих неверное размещение подвижного состава на железнодорожных путях.

2. Выявлены причины отстоя частного подвижного состава, основными из которых являются: наличие приоритета в обслуживании железнодорожных перевозочных средств инвентарного парка, доставка грузов «точно в срок», заключение договора на размещение пустых вагонов грузоотправителей, грузополучателей, отсутствие окончательно согласованных тарифов на перевозки.

3. Разработан граф вариантов отстоя частного подвижного состава, в соответствии с которым железнодорожные перевозочные средства разместить можно на путях общего, необщего пользования. Распределение частных вагонов, направляемых для размещения между железнодорожными путями общего и необщего пользования, требует корректировки организации взаимодействия промышленного и магистрального железнодорожного транспорта, то есть изменения существующего выбора другого режима их взаимодействия.

4. Предложена схема выбора места размещения вагонов и соответственно режима взаимной работы промышленного и магистрального железнодорожного транспорта, отличительной особенностью которой является то, что выбор режима взаимодействия осуществляется на основании расчетов его основных параметров в соответствии с функцией оптимизации имеющегося в наличии путевого оснащения и целесообразности его дальнейшего применения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бородин, А. Ф. Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков с учетом увеличения доли частных вагонов / А. Ф. Бородин, Е. А. Сотников // Ж.-д. трансп. – 2011. – № 3. – С. 8–19.
2. Вернигора, Р. В. Проблемы функционирования железнодорожных подъездных путей Украины в современных условиях / Р. В. Вернигора // Вост.-Европ. журн. передовых технологий. – 2012. – Т. 4, № 3 (58). – С. 64–68.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

3. Еловой, И. А. Интегрированные логистические системы доставки ресурсов: теория, методология, организация / И. А. Еловой, И. А. Лебедева ; под науч. ред. В. Ф. Медведева. – Минск : Право и экономика, 2011. – 461 с.
4. Жарикова, Л. С. Совершенствование системы расчета элементов простоя вагонов на станциях в увязке с определением срока доставки : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Жарикова Лариса Сергеевна ; Сибирский гос. ун-т путей сообщ. – Новосибирск, 2016. – 24 с.
5. Козаченко, Д. Н. Определение расчетных объемов работ для магистральных и промышленных железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко, А. И. Верлан, А. В. Горбова // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 3 (57). – С. 45–57. doi: 10.15802/stp2015/46049.
6. Костевич, Л. С. Исследование операций. Теория игр : учеб. пособие / Л. С. Костевич, А. А. Лапко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Выш. шк., 2008. – 368 с.
7. Оптимизация процессов грузовой работы // А. А. Смехов [и др.]. – Москва : Транспорт, 1973. – 264 с.
8. Повышение качества транспортного обслуживания народного хозяйства / А. В. Комаров [и др.] ; под общ. ред. А. В. Комарова и В. С. Кравченко. – Москва : Транспорт, 1988. – 205 с.
9. Потылкин, Е. Н. Закономерности технологических параметров в логистических системах доставки грузов с использованием железнодорожных путей необщего пользования / Е. Н. Потылкин // Наука и транспорт. Вестн. Белор. гос. ун-та трансп. – 2016. – № 2. – С. 51–53.
10. Потылкин, Е. Н. Конкурентоспособность схем доставки грузов с использованием железнодорожных путей необщего пользования / Е. Н. Потылкин // Проблемы и перспективы развития транспортного комплекса : материалы Междунар. заоч. науч.-практ. конф. (Минск, 1–15 дек. 2015 г.) / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. науч.-исслед. ин-т трансп. «Транстехника». – Минск, 2016. – С. 110–114.
11. Правдин, Н. В. Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – Москва : Транспорт, 1987. – 249 с.
12. Хан, Г. Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапиро. – Москва : Мир, 1969. – 393 с.
13. Циркунов, Г. А. Расчет временных параметров технологического процесса пограничной перегрузочной станции : пособие по курсовому и дипломному проектированию / Г. А. Циркунов, И. А. Еловой, В. С. Зайчик. – Гомель : БелГУТ, 2000. – 38 с.
14. Шляхи підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту в сучасних умовах / П. В. Бех, Г. І. Нестеренко, С. І. Музикіна, О. В. Лашков, М. І. Музикін // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 5 (59). – С. 25–39. doi: 10.15802/stp2015/55349.
15. Barankova, I. Automated control system of a factory railway transport based on ZigBee / I. Barankova, U. Mikhailova, G. Lukianov // 2016 2nd Intern. Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (Chelyabinsk, Russia, 19–20 May 2016). – Chelyabinsk, 2017. doi: 10.1109/icieam.2016.7910923.
16. Khalipova, N. V. International logistics systems design and effectiveness evaluation / N. V. Khalipova // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 4 (58). – P. 142–152. doi: 10.15802/STP2015/49222.
17. Mussone, L. An analytical approach to calculate the capacity of a railway system / L. Mussone, R. W. Calvo // European Journal of Operational Research. – 2013. – Vol. 228. – Iss. 1. – P. 11–23. doi: 10.1016/j.ejor.2012.12.027.
18. Train design and routing optimization for evaluating criticality of freight railroad infrastructures / A. A. Khaled, M. Jin, D. B. Clarke, M. A. Hoque // Transportation Research Part B: Methodological. – 2015. – Vol. 71. – P. 71–84. doi: 10.1016/j.trb.2014.10.002.
19. Vulnerability evaluation of freight railway networks using a heuristic routing and scheduling optimization model / M. Bababeik, M. M. Nasiri, N. Khademi, A. Chen // Transportation. – 2017. – P. 1–28. doi: 10.1007/s11116-017-9815-x.
20. Zhang, Z. A quantitative approach for assessing the critical nodal and linear elements of a railway infrastructure / Z. Zhang, X. Li, H. Li // International Journal of Critical Infrastructure Protection. – 2015. – Vol. 8. – P. 3–15. doi: 10.1016/j.ijcip.2014.11.001.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

І. О. ЄЛОВИЙ^{1*}, Є. М. ПОТИЛКІН^{2*}^{1*}Каф. «Управління вантажною та комерційною роботою», Білоруський державний університет транспорту, вул. Кірова, 34, Гомель, Республіка Білорусь, 246653, тел. +37 (529) 734 11 40, ел. пошта ugkr@belsut.gomel.by, ORCID 0000-0001-9178-563X^{2*}Каф. «Управління вантажною та комерційною роботою», Білоруський державний університет транспорту, вул. Кірова, 34, Гомель, Республіка Білорусь, 246653, тел. +37 (529) 808 77 87, ел. пошта gkrt@inbox.ru, ORCID 0000-0003-3872-8243**РОЗПОДІЛ РУХОМОГО СКЛАДУ ДЛЯ ВІДСТОЮ МІЖ ШЛЯХАМИ
ЗАГАЛЬНОГО ТА НЕЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ**

Мета. Особливої актуальності в умовах збільшення частки приватних вагонів набувають завдання вибору оптимальних режимів взаємної роботи шляхів загального і не загального користування. Тому метою цієї роботи є розробка підходу до обґрунтування вибору режиму взаємодії магістрального та промислового залізничного транспорту з позиції розподілу вагонів, які направляються у відстій, між залізничними колями загального й не загального користування. **Методика.** Для досягнення поставленої мети використано методи наукового аналізу, теорії графів, техніко-економічних розрахунків і математичної статистики, а також експериментально-статистичні методи складання моделей. **Результати.** Отримано залежність потрібної місткості залізничних шляхів, в якій враховується частка приватних вагонів загальному парку, що надходять на місця незагального користування. Запропоновано схему вибору місця розміщення вагонів для обґрунтування вибору режиму взаємодії магістрального й промислового залізничного транспорту з урахуванням наявного колійного оснащення та доцільності його подальшого розвитку. **Наукова новизна.** Дане завдання в такій постановці до теперішнього часу не вирішене, що й визначає актуальність та новизну дослідження в даному напрямку. Отримана формула по визначенню потрібної місткості залізничних колій, на відміну від існуючих способів її розрахунку, враховує вплив випадкового характеру обслуговування приватних перевізних засобів на місцях незагального користування, а також частку вагонів вантажовідправників, вантажоодержувачів у загальному парку. Запропоновано метод вибору місця розміщення приватного рухомого складу, який використовується для обґрунтування вибору режиму взаємодії магістрального і промислового залізничного транспорту з урахуванням наявного колійного оснащення та доцільності його подальшого розвитку. Відмінною особливістю представленого методу є врахування інтересів вантажовласника, як сторони, найбільшою мірою зацікавленої в ефективній взаємній роботі залізничного транспорту загального і не загального користування. **Практична значимість.** На підставі результатів дослідження можуть бути отримані рекомендації по вибору режиму взаємодії магістрального і промислового залізничного транспорту в частині розподілу вагонів, які направляються у відстій, між залізничними колями загального і не загального користування. Це дозволить зменшити витрати вантажовласників за рахунок мінімізації економічних і тимчасових втрат і, як наслідок, зробити послуги залізничного транспорту більш привабливими для клієнтури, що призведе до підвищення його конкурентоспроможності на ринку транспортних послуг.

Ключові слова: залізнична колія незагального користування; приватний вагон; розміщення; режим взаємодії

І. А. YELOVOY^{1*}, Y. N. POTYLKIN^{2*}^{1*}Dep. «Freight and Commercial Work Management», Belarusian State University of Transport, Kirov St., 34, Gomel, Republic of Belarus, 246653, tel. + 37 (529) 734 11 40, e-mail ugkr@belsut.gomel.by, ORCID 0000-0001-9178-563X^{2*}Dep. «Freight and Commercial Work Management», Belarusian State University of Transport, Kirov St., 34, Gomel, Republic of Belarus, 246653, tel. +37 (529) 808 77 87, e-mail. gkrt@inbox.ru, ORCID 0000-0003-3872-8243**ROLLING STOCK DISTRIBUTION FOR PARKING BETWEEN PUBLIC
AND NON-PUBLIC RAILWAY TRACKS**

Purpose. The tasks of selecting the optimal modes of mutual operation of the public and non-public tracks are particularly relevant in the context of increasing the share of private cars. Therefore, the aim of this paper is to develop an approach to the justification of the choice of the interaction mode between mainline and industrial railway transport from the position of cars distribution sent to parking between public and non-public railway tracks.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Methodology. To achieve this purpose, authors used the methods of scientific analysis and synthesis, graph theory, as well as experimental and statistical methods of modeling. **Findings.** Dependence of the required capacity of railway tracks was obtained. It takes into account the share of private cars in the general park arriving at places of non-public use. We proposed a scheme for choosing the place of location of cars to justify the choice of the mode of interaction between the main and industrial railway transport, taking into account the available track equipment and the expediency of its further development. **Originality.** The task in this formulation has not been solved to date, which determines the relevance and originality of research in this direction. The resulting formula for determining the required capacity of railway tracks takes into account the influence of the random nature of servicing of private conveyances at places of non-public use, as well as the share of carriages of consignors, consignees in the general park. We proposed the method for choosing the location of private rolling stock, used to justify the choice of the mode of interaction between the main and industrial railway transport, taking into account the available track equipment and the expediency of its further development. A distinctive feature of the presented method is the consideration of the interests of the cargo owner, as a party most interested in the effective mutual work of public and non-public railway tracks. **Practical value.** Based on the results of the study recommendations can be received on the choice of the mode of interaction between the main and industrial railway transport in the part of the cars distribution sent to parking between public and non-public railway tracks. This will reduce the costs of cargo owners by minimizing economic and time losses and, as a result, make railroad services more attractive to customers, which will lead to an increase in its competitiveness in the transport services market.

Keywords: non-public railway track; private car; location; mode of interaction

REFERENCES

1. Borodin, A. F., & Sotnikov, Y. A. (2011). Ratsionalnoe sootnoshenie vmestimosti putey stantsiy i vagonnykh parkov s uchetom uvelicheniya doli privatnykh vagonov. *Zheleznodorozhnyy transport*, 3, 8-19. (in Russian)
2. Vernigora, R. V. (2012). Problemy funktsionirovaniya zheleznodorozhnykh podezdnykh putey Ukrainy v sovremennykh usloviyakh. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4, 3(58), 64-68. (in Russian)
3. Yelovoy, I. A. & Lebedeva, I. A. (2011). *Integrirovannyye logisticheskie sistemy dostavki resursov: teoriya, metodologiya, organizatsiya*. Minsk: Pravo i ekonomika (in Russian)
4. Zharikova, L. S. (2016). Sovershenstvovanie sistemy rascheta elementov prostoya vagonov na stantsiyakh v uvyazke s opredeleniem sroka dostavki. (*Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk*). Sibirskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya, Novosibirsk. (in Russian)
5. Kozachenko, D. M., Verlan, A. I., & Horbova, O. V. (2015). Calculated volumes determination of work for main-line and industrial railway stations. *Science and Transport Progress*, 3(57), 45-57. doi: 10.15802/stp2015/46049. (in Russian)
6. Kostevich, L. S., & Lapko, A. A. (2008). *Issledovanie operatsiy. Teoriya igr: uchebnoe posobie*. Minsk: Vyshcheyshaya shkola. (in Russian)
7. Smekhov, A. A., Lazarev, H. M., Deribas, A. G., & Babushkin, G. F. et. al. (1973). *Optimizatsiya protsessov gruzovoy raboty*. Moscow: Transport. (in Russian)
8. Komarov, A. V., & Kravchenko, V. S. (eds). (1988). *Povyshenie kachestva transportnogo obsluzhivaniya narodnogo khozyaystva*. Moscow: Transport. (in Russian)
9. Potylkin, E. N. (2016). Zakonomernosti tekhnologicheskikh parametrov v logisticheskikh sistemakh dostavki gruzov s ispolzovaniem zheleznodorozhnykh putey neobshchego polzovaniya. *Nauka i transport. Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta*, 2, 51-53. (in Russian)
10. Potylkin, E. N. (2015). Konkurentosposobnost skhem dostavki gruzov s ispolzovaniem zheleznodorozhnykh putey neobshchego polzovaniya. *Problemy i perspektivy razvitiya transportnogo kompleksa: materialy Mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Minsk, 1-15 December, 2015 y.)*, 110-114. Minsk: Belorusskiy nauchno-issledovatel'skiy institut transporta «Transtekhnika». (in Russian)
11. Pravdin, N. V., Dykanyuk, M. L., & Negrey, V. Ya. (1987). *Prognozirovanie gruzovykh potokov*. Moscow: Transport. (in Russian)
12. Khan, G., & Shapiro, S. (1969). *Statisticheskie modeli v inzhenernykh zadachakh*. Moscow: Mir. (in Russian)
13. Tsirkunov, G. A., Yelovoy, I. A., & Zaychik, V. S. (2000). *Raschet vremennykh parametrov tekhnologicheskogo protsessa pogranichnoy peregruzochnoy stantsii: posobie po kursovomu i diplomnomu proektirovaniyu*. Gomel: BelGUT. (in Russian)
14. Bech, P. V., Nesterenko, G. I., Muzykina, S. I., Lashkov, O. V., & Muzykin, M. I. (2015). Ways to increase competitiveness of railway transport in modern conditions. *Science and Transport Progress*, 5(59), 25-39. doi: 10.15802/stp2015/55349. (in Ukrainian)

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

15. Barankova, I., Mikhailova, U., & Lukianov, G. (2017). Automated control system of a factory railway transport based on ZigBee. *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)* (Chelyabinsk, Russia, 19–20 May 2016). Chelyabinsk. doi: 10.1109/icieam.2016.7910923. (in English)
16. Khalipova, N. V. (2015). International logistics systems design and effectiveness evaluation. *Science and Transport Progress*, 4(58), 142-152. doi: 10.15802/STP2015/49222. (in English)
17. Mussone, L., & Calvo, R. W. (2013). An analytical approach to calculate the capacity of a railway system. *European Journal of Operational Research*, 228, 1, 11-23. doi: 10.1016/j.ejor.2012.12.027. (in English)
18. Khaled, A. A., Jin, M., Clarke, D. B., & Hoque, M. A. (2015). Train design and routing optimization for evaluating criticality of freight railroad infrastructures. *Transportation Research Part B: Methodological*, 71, 71-84. doi: 10.1016/j.trb.2014.10.002. (in English)
19. Bababeik, M., Nasiri, M. M., Khademi, N. & Chen, A. (2017). Vulnerability evaluation of freight railway networks using a heuristic routing and scheduling optimization model. *Transportation*, 1-28. doi: 10.1007/s11116-017-9815-x. (in English)
20. Zhang, Z., Li, X., & Li, H. (2015). A quantitative approach for assessing the critical nodal and linear elements of a railway infrastructure. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 8, 3-15. doi: 10.1016/j.ijcip.2014.11.001. (in English)

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

Поступила в редколегію: 06.12.2017

Прийнята к печати: 23.03.2018

UDC 656.2.078

A. M. OKOROKOV¹, M. O. BULAKH^{2*}

¹Dep. «Management of Operational Work», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 70, e-mail andrew.okorokoff@gmail.com, ORCID 0000-0002-3111-5519

^{2*}Dep. «Management of Operational Work», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 70, e-mail bulah_marina@mail.ru, ORCID 0000-0003-4264-2303

PROPOSALS FOR IMPROVING THE PROCESS OF FORMING PROGRAMS OF REFORMING THE RAILWAY TRANSPORT INDUSTRY

Purpose. The purpose of the work is to develop proposals for improving the process of forming measures and programs for reforming the railway transport industry of Ukraine in the process of European integration based on research, comparison and generalization of information. **Methodology.** A study of the content and the main provisions of legal acts declaring the conditions for the reform of the railway transport was carried out using analysis and synthesis methods. Methods of the system approach, comparison and generalization of the obtained data allowed developing proposals for improving the process of the formation of activities and programs. **Findings.** The need for reforming Ukraine's railway transport has been under consideration since 2006, but for a long time reform was limited only to the development of reforming plans and programs. Not being implemented within the framework of one program, the measures were reflected in the next or parallel one, with the corresponding change in the terms. The carried out analysis of their implementation does not allow talking about inactivity or denying the existence of positive changes, however, given the duration of the period 2006-2017, they occur very slowly. This situation requires new approaches to the development of programs and activities, as well as assessing their implementation, one of which is proposed in the work. **Originality.** The work justifies the need to evaluate the implementation of measures and programs for reforming the railway transport industry by two criteria: legal and practical. The developed basic principles for the formation of programs for reforming and developing the railway transport industry provide an opportunity to receive timely and reliable information on the status of their implementation. **Practical value.** We obtained the possibilities of constant monitoring of the state of financial support for reforms and directions of use of funds, which will prevent their misuse and significantly accelerate the implementation of certain activities, and then increase their effectiveness.

Keywords: railway transport; reforming; state of measures implementation; program formation principles; evaluation criteria

Introduction

Since becoming independent, Ukraine had inherited from the Soviet Union a well-developed railway infrastructure and relatively good material and technical equipment of the railways. However, transition to the market economy and the specific internal peculiarities of the country's development required rapid adaptation and changes in the organizational and managerial structure, and hence reforming of the industry. Due to the lack of these changes for 15 years (1991-2006), the industry continued to work according to old principles that did not meet the current world trends in the organization of railway transport operation, which made its operation ineffective and complicated further development.

Additional factors contributing to the decline of the industry were the rapid aging of fixed assets, unfavorable investment climate and the use of cross subsidies.

Against this background, in 2006, the first attempts to reform railway transport were made. They also continue today.

Purpose

The work is aimed to develop proposals for improving the process of forming measures and programs for reforming the railway transport sector of Ukraine in the process of European integration based on the research, comparison and generalization of information.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Methodology

The study of the content and the main provisions of legal acts declaring the conditions for the railway transport industry reforming were carried out using the methods of analysis and synthesis. The methods of systematic approach, comparison and generalization of the received data allowed developing proposals for improving the process of forming measures and programs.

Findings

Normatively, the first steps of reform were reflected in the Concept of the State Program for Railway Transport Reform, approved by the Decree No. 651-r of December 27, 2006 of the Cabinet of Ministers of Ukraine [7]. The main stages and objectives of the Concept are given in the Fig. 1.

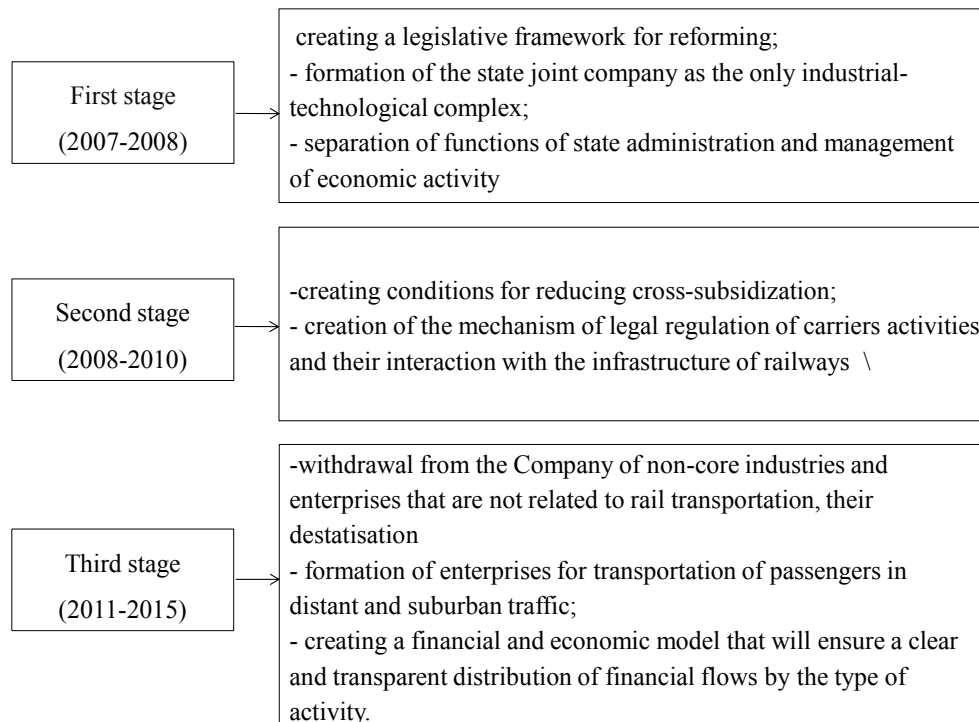


Fig. 1. Stages and tasks of the Concept of the State Program for Railway Transport Reform for 2007-2015.

The reforming stages declared in the Concept were not actually implemented: the required regulatory and legal framework was never created, which made impossible implementation and following measures. Thus, the existing structure of railway management, the state of the railway infrastructure and the technological level of organization of transportations for many parameters have not been brought into line with the growing needs of the society, European quality standards for the provision of transport services. To a large extent they interfered with improving the industry efficiency.

The normative and theoretical basis for further actions concerning the railway industry reform

were the Directives of European Parliament and Council of the EU (which were approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine dated June 11, 2008, No. 821-r, and dated April 15, 2009, No. 408-r), as well as recommendations of the World Bank, the European Bank for Reconstruction and Development, other donors and private investors.

At the end of 2009, the Cabinet of Ministers of Ukraine developed and approved the State Target Program for Railway Transport Reform for 10 years (2010-2019 years) [6, 11]. The stages of implementation and the main objectives of the Reform are shown in the Fig. 2.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

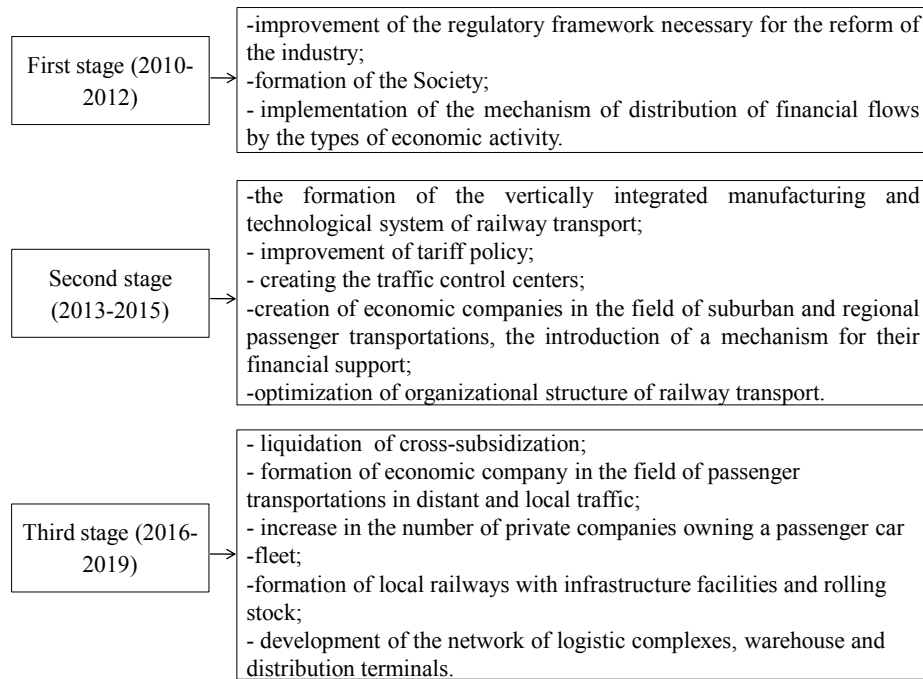


Fig. 2. Stages and main tasks of the State Target Program of Railway Transport Reform for 2010-2019.

Some measures of this Program, in a somewhat generalized form, were duplicated in the Program of Economic Reforms for 2010-2014 «Affluent society, competitive economics, effective state» of 02.06.2010 with differences in terms of their implementation.

Thus, in the section «Development of transport infrastructure» the following problems of railway transport development are defined:

- significant wear of fixed assets - 85%;
- inadequate use of transit potential of the country, as a result of which Ukraine ranks 102-nd among 155 countries according to the logistic efficiency index (Russia – 94-th, Romania – 59-th, Poland – 30-th).

In order to solve these problems, the program provides for a list of measures to be implemented

in three phases.

The main indicators of success were two points:

- reduction of wear of fixed assets of railway transport to 65%;
- rating increase of logistics efficiency of Ukraine from the 102-nd to the 60-th place by 2014 [1].

The presence in the content of the program of the concrete results to be achieved, in digital expressions, makes it possible to check the state of their execution.

The dynamics analysis of the value of fixed assets of PJSC «Ukrzaliznytsia» presented in the Table 1, allows us to conclude that the achievement of the first indicator in the prescribed time did not take place [5, 9, 13].

Table 1

Dynamics analysis of the value of fixed assets of PJSC «Ukrzaliznytsia» for 2010-2015, UAH bln.

Year	2010	2011		2012	2013	2014	2015
Initial cost	3 769.0	4 345.3		5 333.2	6 008.9	10 028.9	633 107.7
Wear	3 693.7	4 266.6		5 247.5	5 924.3	9 940.6	424 536.7
% of wear	98.0	98.2		98.4	98.6	99.1	67.1

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

It should be noted that in 2015 there is a significant increase in the value of fixed assets and a sharp wear decrease (32%). But the main reason for these changes is to carry out an overvaluation of fixed assets at their fair value, on the basis of the results of the audit, and not in the rolling stock renewal [11].

Achievement of the next indicator of success provided by the Program of Economic Reforms for 2010-2014 can be checked by the World Bank's logistics efficiency rating [10], the sample of which is shown in the Fig. 3.

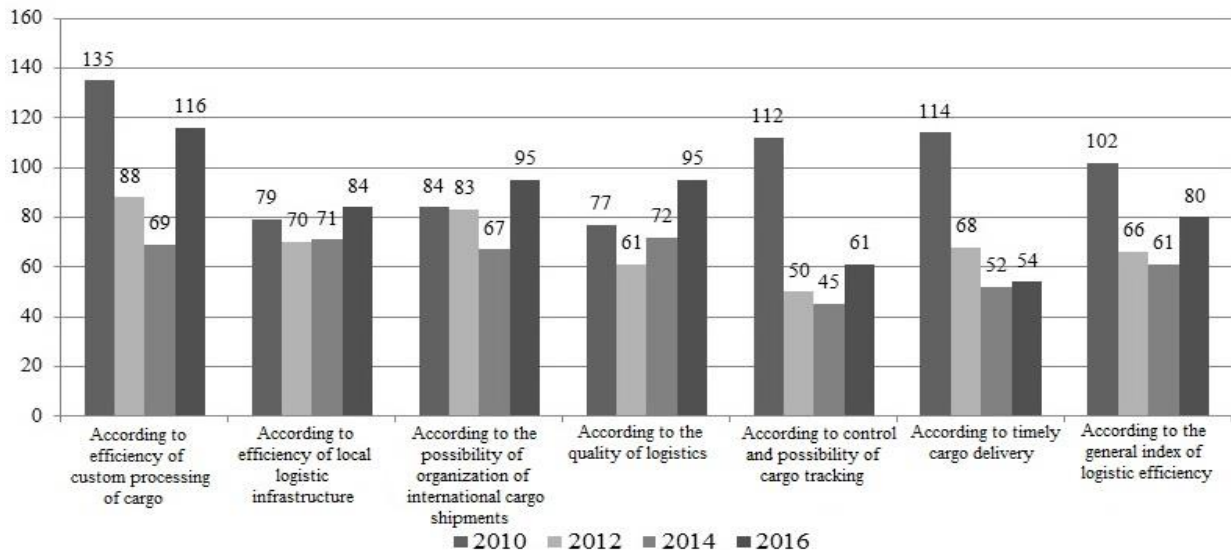


Fig. 3. Ukraine position in the World Bank logistics efficiency rating for 2010-2016

Using the data shown in the Fig. 3, one can see that in 2014 Ukraine occupies the 61-st place in the rating, which makes it possible to assert that the goal has been achieved. However, already in 2016, Ukraine was again at the 80-th place in the general index of logistic efficiency, which indicates the short-term success of the program's measures.

The modern strategy for railway transport development is based on the reform of the management system of the industry, its further demonopolization, which in general will be an important step towards solving the problem of the much-needed rolling stock renovation, infrastructure modernization for capacity increase, development of high-speed traffic and, as a consequence, increase in competitiveness on both the national and international markets of transport services. The principles of strategic development of railway transport are set out in the relevant documents.

At the state level, the «Transport Strategy of Ukraine for the Period up to 2020» was approved of October 20, 2010, No. 2174-r, which defined the main directions, purposes, principles and priorities

of the development of Ukrainian transport industry, including the railway transport, to ensure improving the efficiency of management, improving the quality of transport services and energy conservation [8].

It should be noted that in spite of certain disadvantages of the current «Transport Strategy of Ukraine for the Period up to 2020», this strategic document is actively supported by the European Union through the conclusion of bilateral programs and participation in bilateral projects aimed at strengthening the potential of the Ministry of Infrastructure of Ukraine in solving the wide range of issues of the transport sector [12].

Since almost all measures, in part or in full, are reflected in each of the above-mentioned documents, they can be grouped together in key directions of industry development and one can evaluate implementation at the current stage.

Taking into account the differences between the legal and actual implementation, it is expedient to evaluate these two criteria separately, as shown in the Table 2.

Table 2

The state of implementation of measures on the railway industry reform

Direction of development	Content of measures	Evaluation criterion	
		legal	actual
Harmonization of national transport legislation	Bringing in line with the provisions of EU legislation in the field of railway transport by adopting a new version of the Law of Ukraine «On Railway Transport»	Not fulfilled	Not fulfilled
	Creation of the legal and regulatory framework necessary for reforming the industry	Partially fulfilled	Partially fulfilled
Separation of economic functions and functions of public administration	Formation of the State Joint-Stock Company as the only production-technological complex and the State Service of Railway Transport of Ukraine	Partially fulfilled	Partially fulfilled
	Creation of financial and economic model that will ensure a clear and transparent distribution of financial flows by the type of activity	Not fulfilled	Not fulfilled
Technical re-equipment of infrastructure and rolling stock renovation	Increase the capacity of the main lines	Partially fulfilled	Partially fulfilled
	Increasing the capacity of approach lines to sea-ports	Not fulfilled	Not fulfilled
	Rolling stock renovation	Fulfilled	Partially fulfilled
Integration of railway transport into the European and world transport systems	Development and implementation of technical regulations, standards and unification of requirements for carriers	Fulfilled	Not fulfilled
	Implementation of the automated system of transition of railway rolling stock from the wide to narrow track	Not fulfilled	Not fulfilled

An indicator of the implementation of the first measure should be the adoption/amendment of a number of regulatory acts, which will allow the industry to be reformed, the key one among which is a new version of the Law of Ukraine «On Railway Transport». The law is not currently adopted; however, the Verkhovna Rada of Ukraine continues to work on its project.

Along with the incomplete work on the new version of the Law «On Railway Transport», it is necessary to note the adoption of the Law «On the Peculiarities of the Formation of a Public Joint-Stock Company for Railway Transport of General Purpose» of 23.02.2012. No. 4442-VI. It allowed the corporatization of Ukrzaliznytsia and the introduction of changes arising from the enactment of

the above-mentioned law to a number of legislative acts, namely: the Land Code of Ukraine; The Law of Ukraine «On Privatization of State Property»; The Law of Ukraine «On the Permit System in the Field of Economic Activity»; The Law of Ukraine «On Environmental Audit» and others. Owing to these actions, the overall implementation of this direction can be estimated as a partial.

The state of realization of the next direction is also partial. Creation of the State Joint-Stock Company as a single production-technological complex and the State Railway Transport Service of Ukraine, as well as the distribution of accounting of financial results by the type of activity were determined as implementation indicators. The first of these was implemented by adopting the Resolution of the Cab-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

inet of Ministers of Ukraine No. 200 «On the Formation of the Public Joint Stock Company «Ukrainian Railways», which regulates the procedure for the establishment of the Company. Thus, execution of economic functions was entrusted to PJSC «Ukrainian Railways», which was actually registered on October 21, 2015.

As for public administration, the preliminary list of functions, the organizational scheme of the central executive authority, which implements the state policy in the field of railway transport, is defined, and a draft resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On the Establishment of the State Railway Transport Service of Ukraine» has been developed, which includes the draft Provision on the Service.

In addition, in the course of implementation of this measure, a financial and economic model should be created that will ensure a clear and transparent distribution of financial flows by the type of activity. However, today the finances of all the enterprises that are part of PJSC «Ukrainian Railways» are consolidated, but the distribution of accounting of financial results by the type of activity (freight transportations, infrastructure, traction, passenger transportations, etc.) is not ensured.

Evaluation of the implementation of the following direction is complicated by formalizing the presentation of the task content. In particular, formulation of the first component of «increasing the carrying capacity of the main lines» does not contain a clear list of objects to be reconstructed. «This situation makes it possible to ascertain only positive changes. Thus, during 2016 a project was implemented to increase the capacity of the section Komysh-Zoria-Volnovakha. 36 speed restrictions of trains were cancelled for the section 52.5 km, the speed for passenger trains was increased to 100 km/h, and to 80 km/h for freight trains. The carrying capacity at the Komysh-Zoria-Volnovakha section has been increased to 27 pairs of trains.

During 2017, the project «Construction of the second track on the Zachativska-Rozivka running line in order to increase the carrying capacity of the Komysh-Zoria-Volnovakha section» was implemented. The carrying capacity has been increased to 42 pairs of trains.

There are also difficulties in the evaluation of the next component (rolling stock renovation), since throughout the analyzed period, the period of implementation of this measure is constantly changing. Thus, according to the latest document

the deadline for implementation of the rolling stock renovation of the PJSC «Ukrzaliznytsia» is 2021 [13].

The next component of the direction is increasing the carrying capacity of the access lines to the seaports. The state of implementation can be considered unsatisfactory, as there is an imbalance in the carrying capacity of ports (310 million tons/year) and port railway infrastructure (125 million tons/year) [2].

The railway transport integration into the European and world transport system involves the development and implementation of technical regulations, standards, unification of requirements for carriers and the introduction of automated system for the transition of railway rolling stock from a wide to a narrow track.

Concerning the first measure: its legal execution is indicated by the adoption of the Law «On Technical Regulations and Conformity Evaluation» and approval of the Technical Regulations on the Safety of Rolling Stock of Railway Transport and the Technical Regulation for the Safety of Railway Transport Infrastructure.

At the same time, it should be noted that the actual implementation will become possible after the adoption of the new wording of the Law «On Railway Transport», since operators of locomotive thrust, cargo and passenger transportations, as well as infrastructure operators can provide services in case of availability of the traffic safety management system and security certificate, the procedure for issuance of which is currently not regulated.

As for the introduction of the automated system of the railway rolling stock transition from a wide to a narrow track, there are certain problems. There is a large number of different systems, the most developed of them are the Polish extendable wheel sets SUW 2000, which for some time were also used on Ukrainian railways [3]. However, the practice of application points to the need for in-depth study and analysis of the extendable wheel set systems, their further development and the development of new, more reliable structures [4, 12].

The analysis of the provisions of the State Programs of Reforming and Strategic Plans for of Railway Transport Development based on the two proposed criteria provides an opportunity to give an adequate assessment of their implementation and identify the main obstacles to their full implementation, namely:

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- formalization of the described measures and the absence of clearly defined final result, which greatly complicates the process of assessing the state of their implementation;
- lack of consistency - despite the presence of the staged planning of the implementation of measures, in most cases it is chaotic in nature;
- lack of criteria for evaluation of the program implementation, which leads to uncertainty in the result. For example, the introduction of technical regulations: the regulatory framework is formed, but in fact it does not work;
- lack of clearly identified responsible persons;

– lack of transparency. Despite the fact that the intentions and plans for reforming were declared in the documents of several levels: the government (programs and strategies approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine) and the executive (programs approved by PJSC «Ukrzaliznytsia») there is no report published on official sites.

In order to solve the above-mentioned problems, the authors consider it expedient to use the following principles when developing the measures for reforming and development of railway transport, which are given in the Table 3.

Table 3

Basic principles of formation of programs for reforming and developing the railway transport industry

Principle	Content
Conformity to plan	A clearly defined sequence of actions to implement measures, the inability to proceed to the next stage without completion of the first one
Efficiency	Determining the end result with a list of predicted success indicators
Responsibility	Determination of exhaustive list of persons responsible for the implementation of the measure
Transparency (publicity)	Publication of materials on official internet resources (program, plan of implementation, periodic report with substantiated explanations for deviations)
Clarity	The program should contain a clear wording of the list of works that will be executed during its implementation
Systematic nature	The list of measures is presented in such a sequence that the first attempt would make it possible to perform the next one, and the implementation of the entire system of measures automatically would allow to achieve the goal

Application of the proposed basic principles will improve the process of creation of measures and programs for reforming the railway transport industry in Ukraine, which will lead not only to shortening the deadlines, but also to increasing their efficiency.

Originality and Practical Value

The work substantiates the necessity of evaluating the implementation of measures and programs for the railway industry reforming by two criteria: legal and actual ones. The developed basic principles of the formation of programs for reforming and developing the railway industry provide an opportunity to receive timely and reliable information on the state of their implementation.

The possibilities of continuous monitoring of the financial support state for reforms and directions of the funds use have been obtained. They will prevent their non-targeted use and significantly accelerate the implementation of identified measures with the subsequent increase in their efficiency.

Conclusions

The need for reforming the railway industry of Ukraine has been considered since 2006, but for a long time the reform was limited only to the development of plans and programs of reforming. Being not implemented within the framework of one program, the measures were reflected in the next or parallel document with the corresponding delay in

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

terms. The analysis of their implementation does not allow talking about inactivity or denying the existence of positive changes, however, given the duration of the period 2006–2017, they occur very slowly. Such a situation requires new approaches to the development of programs and measures and evaluation of their implementation, one of which is proposed in the work.

The use of the two proposed criteria will allow an adequate assessment of the state of programs and measures and identify the main obstacles to their full implementation. The application of the basic principles of their formation makes it possible to ensure the timely implementation of certain measures.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Заможне суспільство, конкурентоспроможна економіка, ефективна держава [Електронний ресурс] : програма економічних реформ на 2010–2014 роки. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/file/docs/5/d325760.pdf>. – Назва з екрана. – Перевірено : 01.02.2018.
2. Клок, Є. М. Удосконалення інтермодальних перевезень в умовах узгодженої роботи залізничного та морського транспорту / Є. М. Клок // 36. наук. пр. Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2017. – Вип. 169. – С. 82–87.
3. Коцібан, Ю. О. Удосконалення технології роботи прикордонної передавальної станції в умовах різної ширини колії / Ю. О. Коцібан // 36. наук. пр. Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2014. – Вип. 146. – С. 55–60.
4. Пономаренко, О. В. Перспективи поліпшення технічного стану вагонного парку на залізницях України / О. В. Пономаренко // Наука та прогрес транспорту. – 2017. – № 1 (67). – С. 88–95. doi: 10.15802/stp2017/93162.
5. Про затвердження Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки [Електронний ресурс] : Постанова Каб. Міністрів України від 16.12.2009 р. № 1390. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-p>. – Назва з екрана. – Перевірено : 01.02.2018.
6. Про схвалення Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту [Електронний ресурс] : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 27.12.2006 р. № 651-р. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/651-2006-p>. – Назва з екрана. – Перевірено : 01.02.2018.
7. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року [Електронний ресурс] : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>. – Назва з екрана. – Перевірено : 01.02.2018.
8. Рачинська, А. Оновлення рухомого складу – стратегічне завдання розвитку залізничного транспорту / А. Рачинська // Економіст. – 2016. – № 8. – С. 41–44.
9. Рейтинг логістичної ефективності Світового банку – Logistics Performance Index [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lpi.worldbank.org>. – Назва з екрана. – Перевірено : 01.02.2018.
10. Удосконалення конструкції розсувних колісних пар / Б. Я. Остапюк, О. М. Пшінько, С. В. Мямлін, О. М. Савчук // Залізн. трансп. України. – 2014. – № 5 (108). – С. 31–35.
11. Grushevskaya, K. Institutional rail reform: The case of Ukrainian Railways / K. Grushevskaya, Th. Notteboom, A. Shklier // Transport Policy. – 2016. – Vol. 46. – P. 7–19. doi: 10.1016/j.tranpol.2015.11.001.
12. Ozkan, T. Railway Transport Liberalization: A Case Study of Various Countries in the World / T. Ozkan, G. Yanginlar, S. Kalayci // Journal of Management and Sustainability. – 2016. – Vol. 6. – Iss. 4. – P. 140–149. doi: 10.5539/jms.v6n4p140.
13. Pittman, R. Railways restructuring and Ukrainian Economic Reform / R. Pittman // Man and the Economy. The Journal of The Coase Society. – 2015. – Vol. 2. – Iss. 1. – P. 87–107. doi: 10.1515/me-2015-0006.

А. М. ОКОРОКОВ¹, М. О. БУЛАХ^{2*}

¹Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70, ел. пошта andrew.okorokoff@gmail.com, ORCID 0000-0002-3111-5519

^{2*}Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70, ел. пошта bulah_marina@ukr.net, ORCID 0000-0003-4264-2303

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ПРОГРАМ ІЗ РЕФОРМУВАННЯ ГАЛУЗІ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Мета. Робота ставить за мету розробку пропозицій щодо удосконалення процесу формування заходів та програм із реформування галузі залізничного транспорту України в процесі євроінтеграції на основі дослідження, порівняння та узагальнення інформації. **Методика.** Дослідження змісту й основних положень правових актів, що декларують умови проведення реформування галузі залізничного транспорту, здійснювалося з використанням методів аналізу і синтезу. Методи системного підходу, порівняння та узагальнення отриманих даних дозволили розробити пропозиції щодо удосконалення процесу формування заходів і програм. **Результати.** Необхідність реформування галузі залізничного транспорту України розглядається з 2006 року, проте протягом тривалого часу реформа обмежувалася лише розробкою планів та програм реформування. Будучи нереалізованими в межах однієї програми, заходи знаходили своє відображення в наступній або паралельній програмах, із відповідною зміною термінів. Проведений аналіз їх виконання не дозволяє говорити про бездіяльність або заперечувати наявність позитивних змін, проте, зважаючи тривалість періоду 2006–2017 рр., вони відбуваються дуже повільно. Така ситуація вимагає нових підходів до розробки програм та заходів, а також оцінки їх виконання, один із яких і запропоновано в роботі. **Наукова новизна.** У роботі обґрунтовані необхідності оцінки виконання заходів та програм із реформування галузі залізничного транспорту за двома критеріями: юридичним і фактичним. Розроблені базові принципи формування програм реформування та розвитку галузі залізничного транспорту відкривають можливість отримувати своєчасну та достовірну інформацію про стан їх виконання. **Практична значимість.** Отримані можливості постійного моніторингу стану фінансового забезпечення реформ та напрямів використання коштів, що дозволить попередити їх нецільове використання та значно прискорити реалізацію визначених заходів із наступним підвищенням їх ефективності.

Ключові слова: залізничний транспорт; реформування; стан виконання заходів; принципи формування програм; критерії оцінки

А. М. ОКороков¹, М. А. Булах^{2*}

¹Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70, эл. почта andrew.okorokoff@gmail.com, ORCID 0000-0002-3111-5519

^{2*}Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70, эл. почта bulah_marina@mail.ru, ORCID 0000-0003-4264-2303

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММ РЕФОРМИРОВАНИЯ ОТРАСЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Цель. Работа ставит своей целью обоснование предложений по совершенствованию процесса разработки мероприятий и программ реформирования отрасли железнодорожного транспорта Украины в процессе евроинтеграции на основе исследования, сравнения и обобщения информации. **Методика.** Исследование содержания и основных положений правовых актов, декларирующих условия проведения реформирования железнодорожного транспорта, осуществлялось с использованием методов анализа и синтеза. Методы системного подхода, сравнения и обобщения полученных данных позволили разработать предложения по совершенствованию процесса формирования мероприятий и программ. **Результаты.** Необходимость реформирования железнодорожного транспорта Украины рассматривается с 2006 года, однако в течение длительного времени реформа ограничивалась только разработкой планов и программ реформирования. Будучи не реализованными в рамках одной программы, мероприятия находили свое отражение в следующей или параллельной программах с соответствующим изменением сроков. Проведенный анализ их выполнения не позволяет говорить о бездеятельности или отрицать наличие положительных изменений, однако, учитывая продолжительность периода 2006–2017 гг., они происходят очень медленно. Такая ситуация требует новых

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

подходов к разработке программ и мероприятий, а также оценки их выполнения, один из которых и предлагается в работе. **Научная новизна.** В работе обоснована необходимость оценки выполнения мероприятий и программ реформирования отрасли железнодорожного транспорта по двум критериям: юридическому и фактическому. Разработанные базовые принципы формирования программ реформирования и развития отрасли железнодорожного транспорта предоставляют возможность получать своевременную и достоверную информацию о состоянии их выполнения. **Практическая значимость.** Получена возможность постоянного мониторинга состояния финансового обеспечения реформ и направлений использования средств, что позволит предупредить их нецелевое использование и значительно ускорить реализацию определенных мероприятий с последующим повышением их эффективности.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; реформирование; состояние выполнения мероприятий; принципы формирования программ; критерии оценки

REFERENCES

1. *Zamozhne suspilstvo, konkurentospromozhna ekonomika, efektyvna derzhava : prohrama ekonomichnykh reform na 2010–2014 roky.* Retrived from <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/file/docs/5/d325760.pdf>. (In Ukrainian)
2. Klok, E. M. (2017). Enhancement of intermodal transport in terms of a coherent rail and maritime transport. *Collected Scientific Works of Ukrainian State University of Railway Transport*, 169, 82-87. (In English)
3. Kotsiban, J. O. (2014). Improving the performance of cross-border transfer by changing the gauge. *Collected Scientific Works of Ukrainian State University of Railway Transport*, 146, 55-60. (In English)
4. Ponomarenko, O. V. (2017). The prospects for improving the technical state of rolling stock on the railway of Ukraine. *Science and Transport Progress*, 1 (67), 88-95. (In Ukrainian)
5. *Pro zatverdzhennia Derzhavnoi tsilovoi prohramy reformuvannia zaliznychnoho transportu na 2010–2019 roky: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 16.12.2009 r. № 1390.* Retrived from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-p>. (In Ukrainian)
6. *Pro skhvalennia Kontseptsii Derzhavnoi prohramy reformuvannia zaliznychnoho transportu: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 27.12.2006 r. № 651-r.* Retrived from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/651-2006-p>. (In Ukrainian)
7. *Pro skhvalennia Transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2020 roku: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 20.10.2010 r. № 2174-r.* Retrived from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>. (In Ukrainian)
8. Rachynska, A. (2016). Renewal of rolling is a strategic goal of railways. *Ekonomist*, 8, 41-44. (In Ukrainian)
9. Reitynh lohystychnoi efektyvnosti Svitovoho banku. *Logistics Performance Index*. Retrieved from <https://lpi.worldbank.org>. (In Ukrainian)
10. Ostapiuk, B. J., Pshynko, O. M., Myamlin, S. V., & Savchuk, O. M. (2014). Udoshkonalennia konstruktivnykh rozsvnykh kolisnykh par. *Railway Transport of Ukraine*, 5 (108), 31-35. (In Ukrainian)
11. Grushevska, K., Notteboom, T., & Skhliar, A. (2016). Institutional rail reform: The case of Ukrainian Railways. *Transport Policy*, 46, 7-19. doi: 10.1016/j.tranpol.2015.11.001. (In English)
12. Ozkan, T., Yanginlar, G., & Kalayci, S. (2016). Railway Transport Liberalization: A Case Study of Various Countries in the World. *Journal of Management and Sustainability*, 6, 140-149. doi: 10.5539/jms.v6n4p140. (In English)
13. Pittman, R. (2015). Railways restructuring and Ukrainian Economic Reform. Man and the Economy. *The Journal of The Coase Society*, 2, 87–107. doi: 10.1515/me-2015-0006.

Prof. D. M. Kozachenko, Dr. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Dec. 05, 2017

Accessed: March 12, 2018

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 621.335.04:621.333

Т. М. МІЩЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Інтелектуальні системи електропостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. + 38 (099) 136 96 25, ел. пошта mishchenko_tn@ukr.net, ORCID 0000-0001-6336-7350

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЇВ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ МЕТОДОМ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Мета. Наукова робота передбачає розробку та обґрунтування нового методу параметричної ідентифікації пристроїв електричної тяги, що базується на системі ортогональних функцій, а саме – на основі часових степеневих рядів. **Методика.** Для розв’язання поставленої задачі використовуються: теорія степеневих рядів; основні закони теоретичної електротехніки; елементи спектрального аналізу періодичних та неперіодичних несинусоїдних функцій електричних величин напруги й струму; матричні методи розв’язання системи алгебраїчних рівнянь. **Результати.** Розроблено новий метод часових степеневих рядів, який може використовуватися для ідентифікації пристроїв як системи тягового електропостачання, так і електрорухомого складу. Метод базується на складанні інтегро-диференціальних рівнянь електромагнітного стану досліджуваної електротехнічної системи. Задані напруга і струм у зазначених рівняннях апроксимовані степеневими рядами, в які входять шукані параметри електричного кола системи у вигляді коефіцієнтів. Користуючись розробленим методом, у роботі ідентифіковано електровози змінного струму ДСЗ і 2ЕС5К. Визначено їх параметри R і L , що змінюються в часі на протязі періоду прикладеної синусоїдної напруги. Побудовано та проаналізовано часові залежності $R(t)$ і $L(t)$. Дане пояснення щодо ділянок із від’ємною індуктивністю. Показано, що зазначені електровози можуть бути ідентифіковані пасивним двополюсником із параметричними резистивним та індуктивним елементами. **Наукова новизна.** Інноваційність роботи полягає, по-перше, у розробці нового методу ідентифікації, по-друге, у можливості заміни будь-якого пристрою електричної тяги параметрами RL – двополюсника. І, нарешті, в тому, що запропонований метод дозволяє шляхом уточнення апроксимації вхідних та вихідних напруг і струмів отримувати найбільш точні значення параметрів R та L ідентифікаційного двополюсника. **Практична значимість.** Розроблений метод дозволяє оцінювати в масштабі реального часу параметри пристроїв систем електричної тяги, що сприяє його застосуванню при моделюванні перехідних електромагнітних процесів, які виникають при роботі досліджуваної системи в аварійних режимах.

Ключові слова: ідентифікація; степеневі ряди; електровоз; індуктивність; резистор; метод; напруга; струм; часові залежності

Вступ. Постановка задачі

Суттєве складання в останні роки систем тягового електропостачання та електрорухомого складу, особливо тих, які забезпечують високошвидкісний рух поїздів, обумовлює відповідне ускладнення їх класичних математичних моделей [5]. Якраз це гальмує розробку моделей прогнозування електромагнітних та електроенергетичних процесів у системах електрич-

ної тяги. За нашою думкою, цю задачу можливо розв’язати методами ідентифікації [6].

Кількість наукових публікацій за темою методів ідентифікації, у тому числі й в останні роки, достатньо велика [1–4; 9–12; 15]. Зокрема, у [15] методами часових рядів і нечіткої логіки визначається набір споживачів, які підозрюються в крадіжках електроенергії в електричних мережах низької напруги. На основі аналізу механізму можливої перенапруги в повіт-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

рянній турбіні автори роботи [10] запропонували метод ідентифікації параметрів процесу однофазного короткого замикання. Для встановлення пошкодженого фідера при його високоомному замиканні на землю автори роботи [11] використовують параметричну ідентифікацію для визначення ємності фідер–земля.

Однак, аналіз існуючих моделей і методів ідентифікації показує, що вони розробляються без їх фізичного обґрунтування, на формально-математичному підході до досліджуваної системи. Моделі не містять «структурних» елементів, із яких складається система, бо вони в значній більшості не мають «прив'язки» до певної прикладної виробничої галузі. Крім цього, як правило, застосовуються методи пасивної ідентифікації, в яких як тестовий сигнал (процес) використовують «білий шум» або гармонічний процес. Такий підхід не застосовується до потужних громіздких систем, якими, наприклад, є системи електричної тяги. Тому виключенням із зазначених вище є робота [6], в якій запропоновано моделі і методи активної ідентифікації дуже важливої прикладної галузі, якою є система електричної тяги. При цьому автор не обмежився теоретичними викладками, а й надає відомості про практичне впровадження методів ідентифікації в діючі на залізницях України електровози ДС 3 та 2ЕС5К.

Мета

У зв'язку з вищевикладеним, метою роботи є розробка та обґрунтування нового методу параметричної ідентифікації пристроїв електричної тяги, що базується на системі ортогональних функцій, а саме, на основі часових степеневих рядів.

Методика

Розробку методу часових рядів здійснювали на основі законів теоретичної електротехніки та методів ідентифікації систем у базисі ортогональних функцій [8], а саме, методом часових степеневих рядів чи рядів Фур'є [12]. При цьому вважали, що структура системи, що ідентифікується, відома, і її можна представити параметричним пасивним двополюсником з послідовним з'єднанням резисторного $R(t)$, індуктивного $L(t)$ та ємнісного $C(t)$ елементів [3].

Тоді оператор цієї системи представляється в загальному вигляді як

$$S(t) = R(t) \dots + [\dots L(t)] + \int_0^t \frac{1 \dots}{C(t)} dt. \quad (1)$$

У розглядуваній задачі вхідною функцією до двополюсника є напруга $u(t)$, а вихідною – струм $i(t)$, тоді рівняння електромагнітного стану системи записується як

$$\begin{aligned} u(t) &= R(t)i(t) + \frac{d}{dt}[i(t)L(t)] + \\ &+ \int_0^t \frac{i(t)}{C(t)} dt = R(t)i(t) + L(t) \frac{di(t)}{dt} + \\ &+ i(t) \frac{dL(t)}{dt} + \int_0^t \frac{i(t)}{C(t)} dt. \end{aligned} \quad (2)$$

Представимо відомі функції $u(t)$ та $i(t)$, а також шукані параметри $R(t)$, $L(t)$ та $C(t)$ степеневими рядами [7]:

$$\left. \begin{aligned} u(t) &= \sum_{k=0}^{n_u} U_k t^k; \quad i(t) = \sum_{k=0}^{n_i} I_k t^k \\ R(t) &= \sum_{k=0}^{n_R} R_k t^k; \quad L(t) = \sum_{k=0}^{n_L} L_k t^k \\ C(t) &= \sum_{k=0}^{n_C} C_k t^k \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де величини U_k ($k = \overline{0, n_u}$) та I_k ($k = \overline{0, n_i}$) знаходяться шляхом апроксимації функцій $u(t)$, $i(t)$, і тому вони відомі і постійні (незмінні в часі), а величини R_k ($k = \overline{0, n_R}$), L_k ($k = \overline{0, n_L}$), C_k ($k = \overline{0, n_C}$) потрібно визначити.

Далі функції (3), а також необхідні їх похідні та інтеграли підставляємо в символічне рівняння (2), у результаті отримуємо тотожність для довільного моменту часу $t \in [0, T]$. Прирівнюючи в цій тотожності коефіцієнти при однакових степенях змінної t , отримуємо систему рівнянь для визначення R_k , L_k , C_k . Виходячи з цього, ранг системи незалежних рівнянь дорівнює $n_R + n_L + n_C$, який отримується вибором величин n_u , n_i , тобто, залежить від степенів апроксимаційних поліномів функцій $u(t)$ та

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

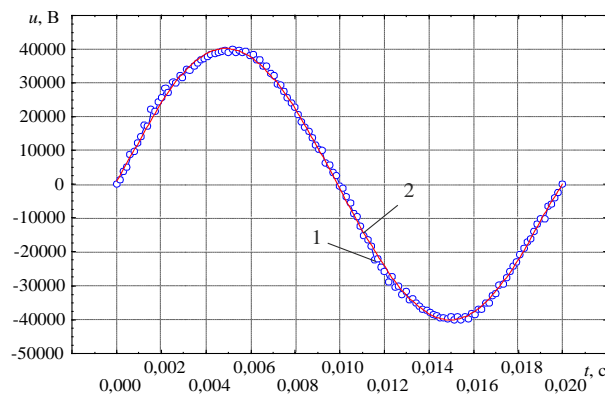
$i(t)$. Тому умовою можливості розв'язання системи рівнянь, й тим самим визначення параметрів, є виконання нерівності:

$$\{n_u, n_R \cdot n_i, n_L \cdot n_i - 1, n_C \cdot n_i + 1\} \geq n_R + n_L + n_C.$$

Окрім цього, бажаним є виконання такого обмеження за активною потужністю за певний період T :

$$\frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt = \frac{1}{T} \int_0^T R(t)i^2(t)dt. \quad (4)$$

a – a



б – б

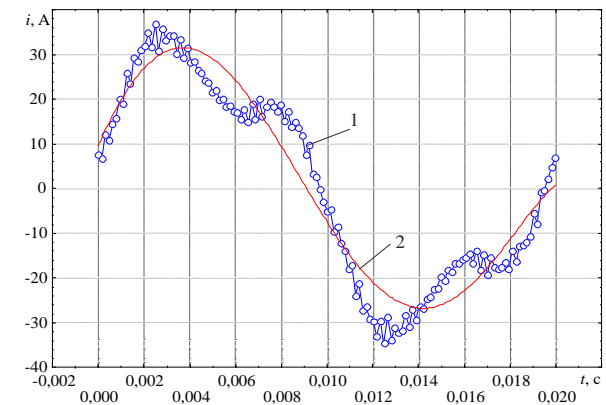
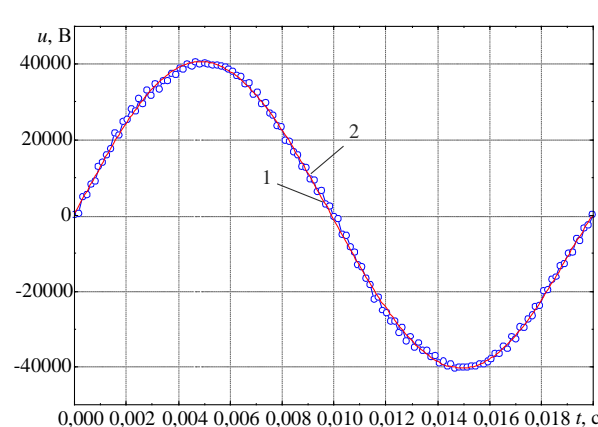


Рис. 1. Осцилограми вхідних напруги (а) і струму (б) електровоза ДС 3 при струмі навантаження $I=20$ А

Fig. 1. Oscillograms of the input voltage (a) and current (b) of the electric locomotive DS 3 at a load current $I=20$ A

a – a



б – б

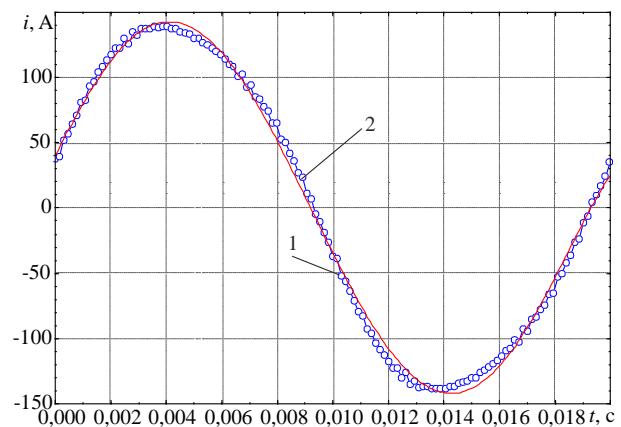
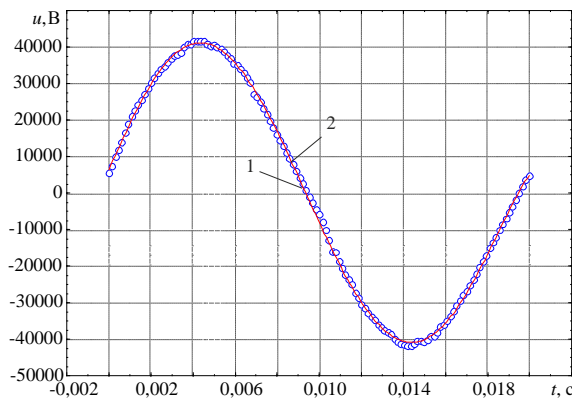
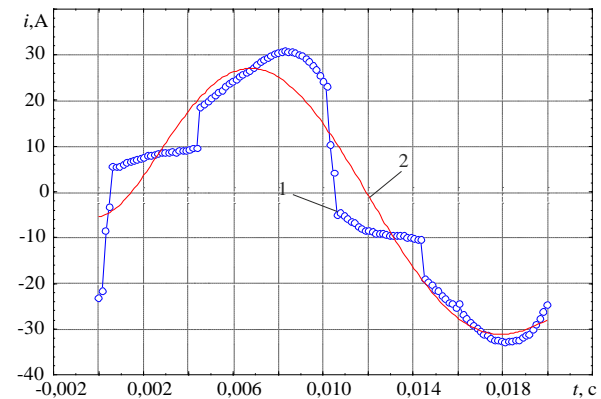
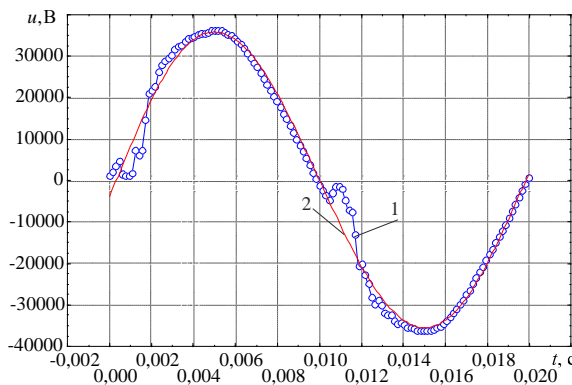
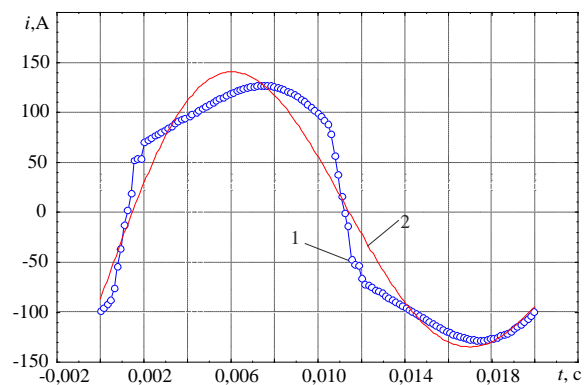


Рис. 2. Осцилограми вхідних напруги (а) і струмі (б) електровоза ДС 3 при струмі навантаження $I=100$ А

Fig. 2. Oscillograms of the input voltage (a) and current (b) of the electric locomotive DS 3 at a load current $I=100$ A

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

a – a*б – б*Рис. 3. Осцилограми вхідних напруги (а) і струму (б) електровоза 2ЕС5К при струмі навантаження $I=20$ АFig. 3. Oscillograms of the input voltage (a) and current (b) of the electric locomotive 2ES5K at load current $I=20$ A*a – a**б – б*Рис. 4. Осцилограми вхідних напруги (а) і струму (б) електровоза 2ЕС5К при струмі навантаження $I=100$ АFig. 4. Oscillograms of the input voltage (a) and current (b) of the electric locomotive 2ES5K at a load current $I=100$ A

При цьому електровоз замістимо пасивним $R(t) - L(t)$ -двополюсником і розглянемо два варіанти в залежності від апроксимаційних поліномів $u(t)$, $i(t)$ та прийнятих залежностей $R(t)$ і $L(t)$ [8,13].

Варіант 1: $n_u = 4$, $n_i = 4$, $n_R = 2$, $n_L = 2$, тобто:

$$\left. \begin{aligned} u(t) &= U_0 + U_1 \cdot t^1 + U_2 \cdot t^2 + U_3 \cdot t^3; \\ i(t) &= I_0 + I_1 \cdot t^1 + I_2 \cdot t^2 + I_3 \cdot t^3; \\ R(t) &= R_0 + R_1 t^1; \\ L(t) &= L_0 + L_1 t^1. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Після підстановки цих величин та їх похідних у рівняння (2) (без урахування останнього доданка для ємності) отримуємо систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} U_0 &= R_0 \cdot I_0 + R_1 \cdot 0 + L_0 \cdot I_1 + L_1 \cdot I_0; \\ U_1 &= R_0 \cdot I_1 + R_1 \cdot I_0 + L_0 \cdot 2I_2 + L_1 \cdot 2I_1; \\ U_2 &= R_0 \cdot I_2 + R_1 \cdot I_1 + L_0 \cdot 3I_3 + L_1 \cdot 3I_2; \\ U_3 &= R_0 \cdot I_3 + R_1 \cdot I_2 + L_0 \cdot 0 + L_1 \cdot 4I_3. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Ця система рівняння (6) є дійсною для обох електровозів і для будь-якого періоду T для змінних $u(t)$ та $i(t)$, тобто для будь-якого струму навантаження I [14]. Тому чисельно ро-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

зрахуємо коефіцієнти R_k і L_k (розв'язуючи систему (6)) у шуканих параметрах $R(t)$ і $L(t)$ для обох електровозів і при різних I .

Для електровозу ДС 3 при $I = 100$ А вхідна напруга $u(t)$ була апроксимована згідно з осцилограмою (рис. 2, а) і виразом (5) таким степеневим рядом:

$$u(t) = 726,3 + 1,18 \cdot 10^7 t + 8,47 \cdot 10^8 t^2 - 4,76 \cdot 10^{11} t^3, \text{ В,}$$

а вхідний струм $i(t)$ – теж рядом (згідно з рис. 2, б):

$$i(t) = 40,39 + 40840,66t - 1,613 \cdot 10^5 t^2 - 1,302 \cdot 10^9 t^3, \text{ А.}$$

Для цього ж електровозу, але при $I = 20$ А (згідно рис. 1) отримані поліноми:

$$u(t) = 869,55 + 1,16 \cdot 10^7 t + 8,66 \cdot 10^8 t^2 - 4,74 \cdot 10^{11} t^3, \text{ В.}$$

$$i(t) = 9,74 + 11579,84t - 1,33 \cdot 10^6 t^2 - 1,05 \cdot 10^8 t^3, \text{ А.}$$

Для електровозу 2ЕС5К відповідно маємо:

– при $I = 20$ А (згідно з осцилограмами рис. 3)

$$u(t) = 6315,6 + 1,3 \cdot 10^7 t + 5,12 \cdot 10^7 t^2 - 4,035 \cdot 10^{11} t^3 \text{ В;}$$

$$i(t) = -5,36 + 370,4t + 2,92 \cdot 10^6 t^2 - 4,9 \cdot 10^8 t^3 \text{ А.}$$

– при $I = 100$ А (згідно з осцилограмами рис. 4):

$$u(t) = -3891,2 + 1,2 \cdot 10^7 t + 5,2 \cdot 10^8 t^2 - 3,97 \cdot 10^{11} t^3 \text{ В;}$$

$$i(t) = -86,96 + 60817,55t + 8,08 \cdot 10^5 t^2 - 1,198 \cdot 10^9 t^3 \text{ А.}$$

Підставляючи в систему рівнянь (6) коефіцієнти при t в поліномах $u(t)$ та $i(t)$, і розв'язавши систему, отримаємо шукані коефіцієнти R_k і L_k у виразах параметрів $R(t)$ і $L(t)$ для цього варіанта; їх значення приведені в таблиці 1.

Варіант 2: $n_u = 6$, $n_i = 6$, $n_R = 3$, $n_L = 3$, тобто:

$$\left. \begin{aligned} u(t) &= U_0 + U_1 \cdot t^1 + U_2 \cdot t^2 + U_3 \cdot t^3 + \\ &\quad + U_4 \cdot t^4 + U_5 \cdot t^5; \\ i(t) &= I_0 + I_1 \cdot t^1 + I_2 \cdot t^2 + I_3 \cdot t^3 + \\ &\quad + I_4 \cdot t^4 + I_5 \cdot t^5; \\ R(t) &= R_0 + R_1 t^1 + R_2 t^2; \\ L(t) &= L_0 + L_1 t^1 + L_2 t^2. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Після підстановки (7) в (2) отримаємо систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} U_0 &= 9,73R_0 + 11579,8L_0 + 9,73L_1, \\ U_1 &= 11579,8R_0 + 9,73R_1 - \\ &\quad - 0,265 \cdot 10^7 L_0 + 23159,68L_1 + 19,47L_2; \\ U_2 &= -0,1323 \cdot 10^7 R_0 + 11579,84R_1 + \\ &\quad + 9,73 \cdot R_2 - 0,314 \cdot 10^9 L_0 - \\ &\quad - 0,397 \cdot 10^7 L_1 + 34739,5L_2; \\ U_3 &= -0,10489 \cdot 10^9 R_0 - 0,1324 \cdot 10^7 R_1 + \\ &\quad + 11579,84R_2 + 0,5524 \cdot 10^{11} L_0 - \\ &\quad - 0,4196 \cdot 10^9 L_1 - 0,5296 \cdot 10^7 L_2; \\ U_4 &= 0,1382 \cdot 10^{11} R_0 - 0,10489 \cdot 10^9 R_1 - \\ &\quad - 0,1324 \cdot 10^7 R_2 - 0,16898 \cdot 10^{13} L_0 + \\ &\quad + 0,69 \cdot 10^{11} L_1 - 0,5245 \cdot 10^9 L_2; \\ U_5 &= -0,33796 \cdot 10^{12} R_0 + 0,1382 \cdot 10^{11} R_1 - \\ &\quad - 0,10489 \cdot 10^9 R_2 - 0,2028 \cdot 10^{13} L_1 + \\ &\quad + 0,8287 \cdot 10^{11} L_2. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Апроксимація $u(t)$ та $i(t)$ дала такі степеневі ряди (поліноми).

Для електровозу ДС 3 відповідно маємо:

– при $I = 20$ А:

$$u(t) = 869,54 + 1,16 \cdot 10^7 t + 8,67 \cdot 10^8 t^2 - 4,74 \cdot 10^{11} t^3 \text{ В;}$$

$$i(t) = 9,734 + 11579,84t - 1,324 \cdot 10^6 t^2 - 1,0489 \cdot 10^7 t^3 \text{ А;}$$

– при $I = 100$ А:

$$u(t) = 726,3 + 1,18 \cdot 10^7 t + 8,47 \cdot 10^8 t^2 - 4,76 \cdot 10^{11} t^3 \text{ В;}$$

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

$$i(t) = 40,39 + 40840,66t - \\ -1,613 \cdot 10^5 t^2 - 1,302 \cdot 10^9 t^3 \text{ A.}$$

Для електровозу 2ЕС5К відповідно маємо:

– при $I = 20 \text{ A}$:

$$u(t) = 6315,6 + 1,3 \cdot 10^7 t + \\ + 5,12 \cdot 10^7 t^2 - 4,035 \cdot 10^{11} t^3 \text{ B;}$$

$$i(t) = -5,36 + 370,4t + \\ + 2,92 \cdot 10^6 t^2 - 4,9 \cdot 10^8 t^3 \text{ A;}$$

– при $I = 100 \text{ A}$:

$$u(t) = -3891,2 + 1,2 \cdot 10^7 t + \\ + 5,2 \cdot 10^8 t^2 - 3,97 \cdot 10^{11} t^3 \text{ B;}$$

$$i(t) = -86,96 + 60817,55t + \\ + 8,08 \cdot 10^5 t^2 - 1,198 \cdot 10^9 t^3 \text{ A.}$$

Підставляючи в систему (8) коефіцієнти при t в приведених вище поліномах $u(t)$ та $i(t)$, отримаємо шукані значення R_k і L_k – у виразах $R(t)$ і $L(t)$ для варіанта 2; значення цих параметрів приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів у виразах параметрів $R(t)$ і $L(t)$ ідентифікаційного двополюсника для електровозів ДС 3 і 2ЕС5К

Table 1

The values of the coefficients in the expressions for parameters $R(t)$ and $L(t)$ of the identification impedor for electric locomotives DS 3 and 2ES5K

Параметри	Електровоз ДС 3				Електровоз 2ЕС5К			
	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 1		Варіант 2	
	$I = 20 \text{ A}$	$I = 100 \text{ A}$	$I = 20 \text{ A}$	$I = 100 \text{ A}$	$I = 20 \text{ A}$	$I = 100 \text{ A}$	$I = 20 \text{ A}$	$I = 100 \text{ A}$
R_0 , Ом	-167,35	309,6	-611,3	312,38	-2 116,9	51,36	-2 130,9	66,49
R_1 , Ом/с	213 153,6	-4 885,4	-471 376,7	-10 202,5	162 637,9	12 026,6	455 464,5	24 374,6
R_2 , Ом/с ²	–	–	$-0,344 \cdot 10^7$	62353,2	–	–	$0,12268 \cdot 10^7$	-92 902,6
L_0 , Гн	-0,182	-0,279	0,021	-0,282	2,37	0,12	2,5	0,104
L_1 , Гн/с	-473,75	-8,83	675,32	-9,282	10 102,56	80,36	1 125,98	75,9
L_2 , Гн/с ²	–	–	-77 136,5	1 678,95	–	–	-71 034,26	-3 867,7

На рис. 5 – 8 за даними таблиці побудовано часові залежності шуканих параметрів $R(t)$ і $L(t)$, за якими ідентифікуються електровози ДС 3 і 2ЕС5К за період $T = 20 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ та за вхідними даними напруги $u(t)$ та струму $i(t)$.

Останнє у повній мірі відповідає суті методу ідентифікації параметрів динамічної системи в режимі її нормального функціонування.

Наукова новизна та практична значимість

Полягає, по-перше, у розробці нового методу ідентифікації. По-друге, у можливості замінити будь-якого пристрою електричної тяги RL -двополюсниками. І, нарешті, у тому, що запропонований метод дозволяє шляхом уточнення апроксимації вхідних і вихідних напруг і струмів отримувати найбільш точні значення параметрів R і L ідентифікаційного двополюсника.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Розроблений метод дозволяє оцінювати в масштабі реального часу параметри пристроїв в систем електричного тяги, що робить його застосовуваним при моделюванні перехідних

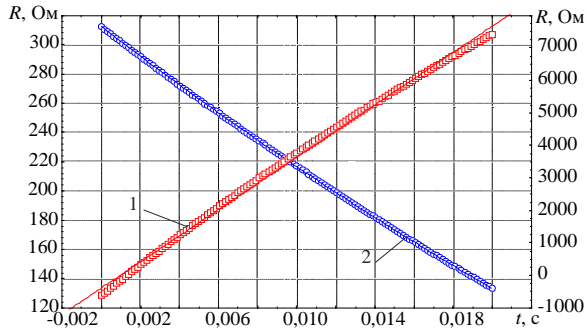


Рис. 5. Часові залежності активного опору R електро-
возу ДС 3 при 100 А – крива 1 (шкала ліворуч),
при 20 А – крива 2 (шкала праворуч)

Fig. 5. Time dependence of the active resistance R of the diesel engine DS 3 at: 100 A – curve 1 (scale on the left), 20 A – curve 2, (scale on the right)

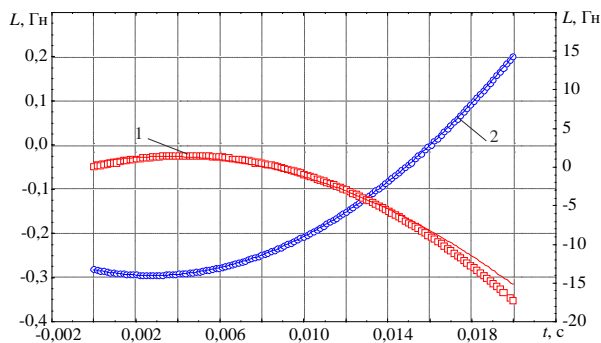


Рис. 6. Часові залежності індуктивності L електро-
возу ДС 3 при 100 А – крива 1 (шкала ліворуч),
при 20 А – крива 2 (шкала праворуч)

Fig. 6. Time dependencies of inductance L of electric locomotive DS 3 at: 100 A – curve 1 (scale on the left), 20 A – curve 2 (scale on the right)

Висновки

1. Часові залежності активних опорів $R(t)$ обох електро-возів у діапазоні $t = 0 \dots 20 \cdot 10^{-3}$ с змінюються лінійно, незалежно від степеня поліномів $u(t)$ та $i(t)$, прийнятого вигляду степеневого ряду $R(t)$ та навантаження I .

Це пояснюється тим, що третій доданок в $R(t)$, тобто $R_2 t^2$, у варіанті 2 на два порядки менший, ніж $R_1 t$, оскільки, не дивлячись на

електромагнітних процесів, які виникають при роботі досліджуваної системи в аварійних режимах.

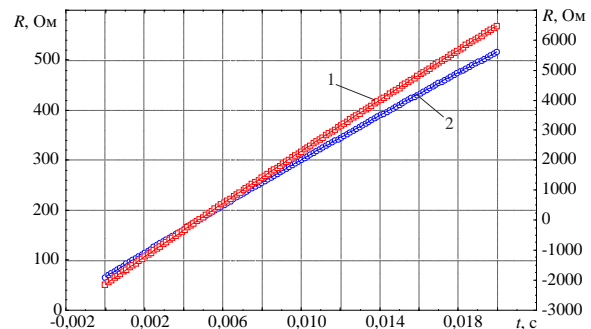


Рис. 7. Часові залежності активного опору R електро-
возу 2ЕС5К при 100 А – крива 1 (шкала ліворуч),
при 20 А – крива 2 (шкала праворуч)

Fig. 7. Time dependences of the active resistance R of the electric motor 2ES5K at: 100 A – curve 1, scale on the left, 20 A – curve 2, scale on the right

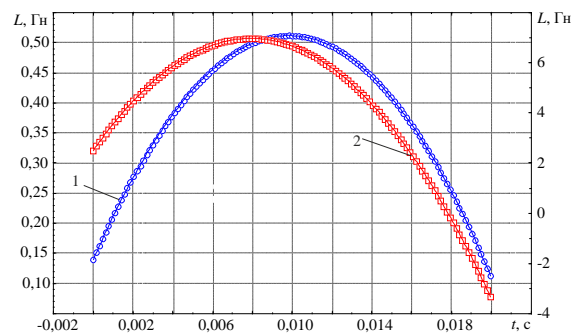


Рис. 8. Часові залежності індуктивності L електро-
возу 2ЕС5К при 100 А – крива 1 (шкала ліворуч),
при 20 А – крива 2 (шкала праворуч)

Fig. 8. Time dependencies of inductance L of electric car 2ES5K at: 100 A – curve 1 (scale on the left), 20 A – curve 2 (scale on the right)

великі значення коефіцієнтів R_2 , він множить-ся на 10^{-6} . До того ж, R_1 має велике значення, і тому доданок $R_1 t$ суттєво перевищує $R_2 t^2$.

2. Дещо інша закономірність зміни $L(t)$. Виходячи зі значень коефіцієнтів L_1 і L_2 у варіанті 2, доданок $L_1 t$ перевищує $L_2 t^2$ десь приблизно в 8...10 разів, і тому нелінійний доданок $L_2 t^2$ робить свій внесок в $L(t)$ – саме тому ця залежність має загальний нелінійний вигляд.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

3. Ділянки з від'ємною індуктивністю в кривій $L(t)$ для електровоза ДС 3 пояснюються відстаючим кутом зсуву фаз φ , тобто тим, що вхідна напруга відстає від струму (про що свідчать відповідні осцилограми). Як відомо, від'ємній індуктивності еквівалентна певна єм-

ність. У свою чергу, ємнісний характер електровоза ДС 3, як пасивного двополосника, можна пояснити певними функціональними процесами, що протікають в чотириквadrантному перетворювачу 4gs цього електровозу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беляев, В. Е. Методы идентификации / В. Е. Беляев, Н. В. Гудкова, Н. А. Куликовская. – Таганрог : Изд-во Технолог. ин-та ЮФУ, 2010. – 235 с.
2. Бойков, И. В. Параметрическая идентификация линейных динамических систем с распределенными параметрами / И. В. Бойков, Н. П. Кривулин // Метрология. – 2014. – № 7. – С. 13–23.
3. Костін, М. О. Теоретичні основи електротехніки : у 3 т. / М. О. Костін, О. Г. Шейкіна. – Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2006. – Т. I. – 336 с.
4. Мельничук, С. В. Метод структурно-параметрической идентификации многосвязных систем по частотным характеристикам / С. В. Мельничук // Кибернетика и вычислительная техника. – 2015. – Вып. 181. – С. 66–80.
5. Міщенко, Т. М. Перспективи схемотехнічних рішень і моделювання підсистем електричної тяги при високошвидкісному русі поїздів / Т. М. Міщенко // Електротехніка та електроенергетика. – 2014. – № 1. – С. 19–28.
6. Міщенко, Т. М. Теоретичні аспекти та методи ідентифікації параметрів пристроїв системи електричної тяги. Метод циклічної вольт-амперної характеристики / Т. М. Міщенко // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 1 (43). – С. 119–125. doi: 10.15802/stp2013/9584.
7. Тиховод, С. М. Метод численного расчета переходных процессов в электрических цепях и его схемная интерпретация / С. М. Тиховод, Н. А. Костин // Наук. вісн. НГУ. – 2013. – № 5. – С. 85–92.
8. Тонкаль, В. Е. Баланс энергий в электрических цепях / В. Е. Тонкаль, В. А. Новосельцев, С. П. Денисюк. – Київ : Наук. думка, 1992. – 312 с.
9. Шефер, О. В. Сучасний метод ідентифікації нелінійних сигналів радіотехнічних систем / О. В. Шефер // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – № 1 (49). – С. 185–189.
10. A novel single-phase-to-ground fault identification and isolation strategy in wind farm collector line / N. Jin, J. Xing, Y. Liu, Z. Li, X. Lin // Intern. Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2018. – Vol. 94. – P. 15–26. doi: 10.1016/j.ijepes.2017.06.031.
11. Detection method for single-pole-grounded faulty feeder based on parameter identification in MVDC distribution grids / G. Song, J. Luo, S. Gao, X. Wang, K. Tassawar // Intern. Journal of Electrical Power and Energy System. – 2018. – Vol. 97. – P. 85–92. doi: 10.1016/j.ijepes.2017.10.039.
12. Eykhoff, P. Trends and progress in system identification / P. Eykhoff. – Oxford : Pergamon Press, 1981. – 418 p.
13. Kostin, N. Correlation theory of casual processes in electrical power problems for systems of electric transport / N. Kostin, T. Mishchenko, L. Shumikhina // Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE) : Proc. of the 16th Intern. Workshop Conference (September 2–5, 2015). – Lviv, 2015. – P. 84–87.
14. Kostin, N. Stochastic Electromagnetic Processes in Power Circuits of Electric Locomotive at a Sharp Change of Voltage on a Current Collector / N. Kostin, T. Mishchenko, O. Reutskova // Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe : 7th Intern. Conf. (29.09–01.10.2005). – Warsaw, 2005. – P. 227–232.
15. Spirić, J. V. Identification of suspicious electricity customers / J. V. Spirić, S. S. Stanković, M. B. Dočić // Intern. Journal of Electrical Power and Energy Systems. – 2018. – Vol. 95. – P. 635–643. doi: 10.1016/j.ijepes.2017.09.019.

Т. Н. МИЩЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Интеллектуальные системы электроснабжения», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (099) 136 96 25, эл. почта mishchenko_tn@ukr.net, ORCID 0000-0001-6336-7350

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ МЕТОДОМ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Цель. Научная работа предусматривает разработку и обоснование нового метода параметрической идентификации устройств электрической тяги, основанного на системе ортогональных функций, а именно – на основе временных степенных рядов. **Методика.** Для решения поставленной задачи используются: теория степенных рядов; основные законы теоретической электротехники, элементы спектрального анализа периодических и непериодических несинусоидальных функций электрических величин напряжения и тока; матричные методы решения системы алгебраических уравнений. **Результаты.** Разработан новый метод временных степенных рядов, который может использоваться для идентификации устройств, как системы тягового электроснабжения, так и электроподвижного состава. Метод основан на составлении интегро-дифференциальных уравнений электромагнитного состояния исследуемой электротехнической системы. Заданные напряжение и ток в указанных уравнениях аппроксимированы степенными рядами, в которые входят искомые параметры электрической цепи системы в виде коэффициентов. Пользуясь разработанным методом, в работе идентифицированы электровагоны переменного тока ДСЗ и 2ЕС5К. Определены их параметры R и L , изменяющиеся во времени на протяжении периода приложенного синусоидального напряжения. Построены и проанализированы временные зависимости $R(t)$ и $L(t)$. Дано объяснение для участков с отрицательной индуктивностью. Показано, что указанные электровагоны могут быть идентифицированы пассивным двухполюсником с параметрическими резистивным и индуктивным элементами. **Научная новизна.** Инновационность работы заключается, во-первых, в разработке нового метода идентификации, во-вторых, в возможности замены любого устройства электрической тяги параметрами RL – двухполюсника. И, наконец, в том, что предложенный метод позволяет путем уточнения аппроксимации входных и выходных напряжений и токов получать наиболее точные значения параметров R и L идентификационного двухполюсника. **Практическая значимость.** Разработанный метод позволяет оценивать в масштабе реального времени параметры устройств систем электрической тяги, что способствует его применению при моделировании переходных электромагнитных процессов, возникающих при работе исследуемой системы в аварийных режимах.

Ключевые слова: идентификация; степенные ряды; электровагон; индуктивность; резистор; метод; напряжение; ток; временные зависимости

Т. М. MISHCHENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Intelligent Power Supply Systems», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (099) 136 96 25, e-mail mishchenko_tn@ukr.net, ORCID 0000-0001-6336-7350

PARAMETERS IDENTIFICATION OF THREE-PHASE TO CONTINUOUS CURRENT SYSTEMS DEVICES BY THE TIME SERIES METHOD

Purpose. The scientific work provides for the development and justification of a new method for the parametric identification of electric traction devices based on a system of orthogonal functions, namely – on the basis of time power series. **Methodology.** To solve this problem, we use: the theory of power series; basic laws of theoretical electrical engineering, elements of the spectral analysis of periodic and non-periodic non-sinusoidal functions of electrical quantities of voltage and current; matrix methods for solving a system of algebraic equations. **Findings.** A new method of time power series is developed, which can be used to identify devices both traction power systems and electric rolling stock. The method is based on the compilation of integro-differential equations of the electromagnetic state of the electrotechnical system under study. The given voltage and current in the indicated equations

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

are approximated by power series, into which the required parameters of the electric circuit of the system enter in the form of coefficients. Using the developed method, electric locomotives AC of DSC3 and 2ES5K were identified in the work. Their parameters R and L , varying in time over the period of the applied sinusoidal voltage, are determined. Time dependences $R(t)$ and $L(t)$ are constructed and analyzed. An explanation is given for the regions with negative inductance. It is shown that these electric locomotives can be identified by a passive two-terminal network with parametric resistive and inductive elements. **Originality.** Innovation of work consists, first, in development of a new method of identification, and secondly, in the possibility of replacing any device of electric traction with parameters of RL - a two-terminal network. And, finally, the fact that the proposed method makes it possible, by improving the approximation of input and output voltages and currents, to obtain the most accurate values of the parameters R and L the identification two-terminal network. **Practical value.** The developed method makes it possible to evaluate the parameters of devices of electric traction systems on a real-time scale, which facilitates its application in modeling the transient electromagnetic processes that arise during the operation of the system under study in emergency modes.

Keywords: identification; power series; electric locomotive; inductance; resistor; method; voltage; current; time dependencies

REFERENCES

1. Belyaev, V. Y., Gudkova, N. V., & Kulikovskaya, N. A. (2010). *Metody identifikatsii*. Taganrog: Izdatel'stvo Tekhnologicheskogo instituta YuFU. (in Russian)
2. Boykov, I. V., & Krivulin, N. P. (2014). Parametricheskaya identifikatsiya lineynykh dinamicheskikh sistem s raspredelennymi parametrami. *Metrologiya*, 7, 13-23. (in Russian)
3. Kostin, M. O., & Sheikina, O. H. (2006). *Teoretychni osnovy elektrotekhniki: U trokh tomakh* (Vol. 1). Dnipropetrovsk: Vydavnytstvo DNUZT. (in Ukrainian)
4. Melnychuk, S. V. (2015). Method of Structural Parametric Multivariable System Identification Using Frequency Characteristics. *Cybernetics and Computer Engineering*, 181, 66-80. (in Russian)
5. Mishchenko, T. M. (2014). The prospects of the technical solutions and modeling systems of electric traction in high-speed trains. *Electrical Engineering and Power Engineering*, 1, 19-28. (in Ukrainian)
6. Mishchenko, T. M. (2013). Theoretical aspects and methods of parameters identification of the electric traction system devices. Method of cyclic current-voltage characteristics. *Science and Transport Progress*, 1(43), 119-125. doi: 10.15802/stp2013/9584 (in Ukrainian)
7. Tikhovod, S. M., & Kostin, N. A. (2013). Metod chislennogo rascheta perekhodnykh protsessov v elektricheskikh tsepyakh i ego skhemnaya interpretatsiya. *Naukoviy visnik NGU*, 5, 85-92. (in Russian)
8. Tonkal, V. Y., Novoseltsev, V. A., & Denisyuk, S. P. (1992). *Balans energii v elektricheskikh tsepyakh*. Kiev: Naukova dumka. (in Russian)
9. Shefer, O. V. (2017). Modern method of non-linear signals radiotechnical identification. *Systems of Arms and Military Equipment*, 1(49), 185-189. (in Ukrainian)
10. Jin, N., Xing, J., Liu, Y., Li, Z., & Lin, X. (2018). A novel single-phase-to-ground fault identification and isolation strategy in wind farm collector line. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 94, 15-26. doi: 10.1016/j.ijepes.2017.06.031. (in English)
11. Song, G., Luo, J., Gao, S., Wang, X., & Tassawar, K. (2018). Detection method for single-pole-grounded faulty feeder based on parameter identification in MVDC distribution grids. *International Journal of Electrical Power & Energy System*, 97, 85-92. doi: 10.1016/j.ijepes.2017.10.039. (in English)
12. Eykhoff, P. (1981). *Trends and progress in system identification*. Oxford: Pergamon Press. (in English)
13. Kostin, N., Mishchenko, T., & Shumikhina, L. (2015). Correlation theory of casual processes in electrical power problems for systems of electric transport. *Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE): Proc. of the 16th Intern. Workshop Conference (Lviv, September 2-5)*, 84-87. (in English)
14. Kostin, N., Mishchenko, T. & Reutskova, O. (2005). Stochastic Electromagnetic Processes in Power Circuits of Electric Locomotive at a Sharp Change of Voltage on a Current Collector. *In Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe (Warsaw, 29.09-01.10. 2005): 7th Intern. Conference*, 227-232. (in English)
15. Spirić, J. V., Stanković, S. S., & Dočić, M. B. (2018). Identification of suspicious electricity customers. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 95, 635-643. doi: 10.1016/j.ijepes.2017.09.019. (in English)

Стаття рекомендована до публікації д. т. н., проф. М. О. Костіним (Україна)

Надійшла до редколегії: 05.12.2017

Прийнята до друку: 15.03.2018

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

УДК 625.173.2:[625.171+629.464.47]

М. Б. КУРГАН¹, Д. М. КУРГАН^{2*}, С. Ю. БАЙДАК³, Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА⁴

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

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

³Каф. «Проектування і будівництво доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта baydak86@ukr.net, ORCID 0000-0002-7909-8527

⁴Каф. «Проектування і будівництво доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта hmelevnela@gmail.com, ORCID 0000-0002-2360-8671

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ У ПЛАНІ ЗА РІЗНИМИ МЕТОДАМИ ЗЙОМКИ

Мета. Основною метою даної роботи є аналіз існуючих методів зйомки кривих у плані, дослідження впливу помилок вимірювання параметрів плану на допустимі швидкості руху поїздів, розробка пропозицій щодо зниження інтенсивності розладу колії за рахунок приведення параметрів кривих до нормативних вимог, що діють в Україні на напрямках впровадження прискореного й швидкісного руху поїздів. Проблема перебудови кривих не була такою гострою, поки не з'явилася необхідність підвищення швидкостей руху та моніторингу технічного стану плану колії. Недостовірне визначення параметрів кривих призводить до необґрунтованого обмеження швидкості руху або до великих обсягів рихтувальних робіт. **Методика.** Використана в роботі методика передбачає всебічне і детальне вивчення різних способів зйомки залізничних кривих, спрямоване на розробку та впровадження оптимальних рішень щодо плану залізничної колії. На сьогодні існують різні можливості для зйомки натурної геометрії залізничної колії. Для проведення досліджень на значній кількості ділянок та за тривалий термін експлуатації найбільш зручним, перш за все, враховуючи регулярність заїздів, залишається стрічка колієвимірювального вагону. Однак, цей спосіб використовується для оцінки стану залізничної колії, а не для визначення точного геометричного положення. Так, при спробі визначати за колієвимірювальною стрічкою дійсні обриси нерівностей колії виникає низка складностей. При побудові математичної моделі існуючого плану використовується припущення: приймається, що три суміжні точки кривої лежать на колі. На такому принципі побудована робота виправно-підбивно-рихтувальних машин. У результаті виправних робіт із метою зменшення обсягів зсувів крива не відповідає вихідним паспортним даним. **Результати.** Наслідки роботи впливають із аналізу різних підходів і способів зйомки плану лінії, впливу параметрів кривих на встановлення допустимої швидкості руху поїздів. Отримані в роботі рекомендації сприятимуть ефективності проектних рішень, визначатимуть якість проекту реконструкції в цілому і доцільність його реалізації зокрема. **Наукова новизна.** Набули подальшого розвитку наукові підходи щодо оцінки стану кривих, визначення їх параметрів та допустимої швидкості руху поїздів. Доповнена система критеріїв оцінки стану кривих, що впливають на накопичення розладів колії в плані. **Практична значимість.** Отримані результати будуть корисні для проведення заходів щодо підвищення швидкості, поліпшення плавності руху поїздів та підвищення рівня комфортабельності їзди на кривих ділянках колії, особливо на напрямках впровадження прискореного й швидкісного руху поїздів.

Ключові слова: швидкісний рух поїздів; методи зйомки кривих; параметри кривих; похибки вимірювання; перехідна крива; кругова крива; допустима швидкість руху поїзда

Вступ

Методи, які використовуються сьогодні на дистанціях колії для визначення фактичних параметрів кривих не досконалі, так як в кінцевий результат привноситься суб'єктивність, кваліфікація виконавця та інші фактори. Геометричні параметри кривих, зазначені на поздовжньому профілі, часто не відповідають фактичним даним. Для виконання робіт з приведення кривих до проектного положення та для визначення їх геометричних параметрів повинні бути вирішені такі питання: яким способом проводити зйомку кривих і яка інформація є вичерпною щодо фактичного стану кривих; яким методом виконувати розрахунки з виправки кривих; які реальні параметри кривих (радіуси, довжина перехідних кривих і прямих вставок між кривими, підвищення зовнішньої рейки, можливі розбіжності відводів підвищення зовнішньої рейки та кривизни) впливають на встановлення допустимої швидкості руху [10, 12].

Проблема не була такою гострою, поки не з'явилася необхідність підвищення швидкостей руху та моніторингу технічного стану плану колії [11, 15]. Недостовірне визначення параметрів кривих приводить до необґрунтованого обмеження швидкості руху або до великих обсягів рихтувальних робіт.

Мета

Метою даної роботи є дослідження впливу помилок вимірювання параметрів плану лінії на рівень допустимої швидкості руху поїздів та розробка пропозицій щодо зниження інтенсивності розладу колії за рахунок приведення параметрів кривих до нормативних вимог.

Методика

Сьогодні відомі діагностичні комплекси, які дозволяють здійснювати діагностику об'єктів інфраструктури безконтактним способом із застосуванням оптичних лазерних датчиків зі швидкістю до 160 км/год. При цьому може проводитися вимір додаткових параметрів – контроль поздовжнього профілю, габариту наближення, зносу рейок, коротких нерівностей, вертикальних і горизонтальних прискорень тощо. Крім того, проводиться відеоспостережен-

ня за всіма об'єктами (колією, контактним д्रो- том, опорами контактної мережі і т.д.) камерами з високою роздільною здатністю і прив'язкою до колійної координати, що дозволить отримувати додаткову інформацію про стан об'єктів. Планувалося, починаючи з 2014 року, придбати діагностичний комплекс на кожен залізничний вузол для проведення дослідних випробувань, розробки необхідних нормативів з динамічного впливу рухомого складу на колію для оцінки ефективності їх подальшого впровадження [8], але плани залишились нездійсненими.

Удосконалення методів визначення параметрів плану колії триває, чому сприяють сучасні технічні досягнення, наприклад, такі як супутникова зйомка [16]. Найпростішим джерелом отримання даних про криві ділянки колії на сьогоднішній день є колієвимірювальна стрічка, на якій інформація записана безупинно. Але асиметрія вимірювальної схеми приводить до того, що на графіку кривизни колії положення перехідних кривих зміщується від істинного, а короткі прямі вставки можуть узагалі зникати. Це приводить до необхідності застосування методів «згладжування», які не гарантують постанову кривих у геометрично правильне положення.

Спроби отримати дані за стрічкою колієвимірювача про стан кривих та їхні параметри робилися неодноразово. Так, у роботі [9] розглядалася можливість використання даних стрічок колієвимірювальних вагонів, мотивуючи це тим, що на практиці для оцінки стану кривих найчастіше використовуються паспортні дані, які не завжди відображають дійсні параметри кривих.

При побудові математичної моделі існуючого плану використовується математична модель з низкою припущень: так, вважається, що три сусідні точки кривої лежать на колі. На такому принципі – методі «згладжування» побудована робота виправочно-підбивочно-рихтувальних машин (ВІПР). У результаті виконання рихтувальних робіт з метою зменшення обсягів зсувів крива не відповідає вихідним паспортним даним, з однорадіусної може стати багаторадіусною (складеною) [10].

Досліджуючи резерви підвищення швидкості руху, проф. М. Ф. Веригу звернув увагу на те, що розрахунки виконуються для екіпажів, що рухаються не по реальній, а по ідеальній

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

кривій, і запропонував увести в практику встановлення допустимих швидкостей для кожного конкретного типу екіпажу за такими параметрами як значення напружень в елементах конструкцій, значення динамічних сил взаємодії колії й рухомого складу та їх співвідношення [1]. Аналогічні пропозиції наведені в роботі [13]. Однак, дотримання критеріїв міцності та стійкості колії, за якими встановлюються умови обертання рухомого складу [5], не виключає виходу з ладу окремих елементів верхньої будови колії і, головне, не обмежує інтенсивність накопичення розладів і зношування колії. Отже, виникає необхідність в оцінці інтенсивності наростання залишкових деформацій. Якщо таке питання постало на порядку денному, то виникає й наступне, пов'язане з оцінкою впливу геометричних параметрів колії на її деформативність, яка також залежить від параметрів кривих. Так, неправильно встановлене підвищення зовнішньої рейки призводить до зсувів колії, розладів ширини колії, прискорення бічного зносу рейок. Створення багаторадіусних кривих замість однорадіусних з метою зменшення обсягу зсувів при рихтуванні не тільки швидше дестабілізує колію, але й викликає появу численних перехідних зон, які при неправильному улаштуванні представляють загрозу безпеці руху поїздів [4].

Результати

Спосіб вимірювання стріл в середині 20-метрової хорди. Для порівняння натурального положення кривої з проектним на кожен криву складається технічний паспорт. Наведемо аналіз паспортних даних однієї з кривих на ділянці Синельникове – Чаплине, 251–255 км на непарній колії, за період з 2013 по 2016 роки. Графіки натурних стріл вигину представлено на рис. 1.

Паспортні характеристики кривої (кривизна, підвищення зовнішньої рейки, довжина перехідних кривих) повинні забезпечувати для заданого рівня швидкості оптимальну величину непогашених прискорень $\alpha_{\text{нп}}$, швидкості їх зміни $\psi = \alpha_{\text{нп}}/dt$ і відведення підвищення зовнішньої рейки (h) за довжиною перехідної кривої (l); $i = dh/dl$.

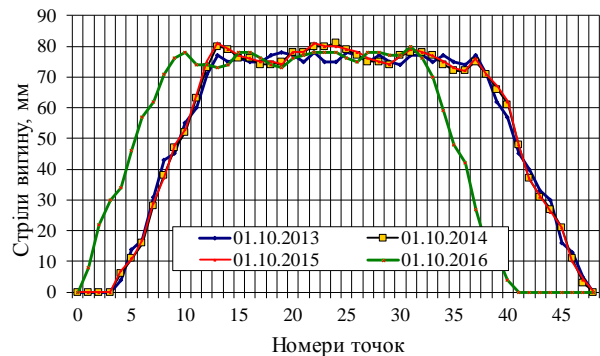


Рис. 1. Графіки натурних стріл вигину кривої в різні роки

Fig. 1. Graphs of actual bends deflection of curve in different years

Оцінка відступів у плані виконувалася за показниками колієвимірювальних вагонів відповідно до норм утримання рейкової колії ЦП-0267 [7].

За даними паспорта для кривої, що наведені на рис. 1 (період 2013–2016 рр.), були виконані розрахунки показників руху, результати яких наведено на рис. 2.

За даними паспорту кривої в табл. 1 наведено параметри кривої і підрахована сума стріл вигину.

Загальний кут повороту кривої $\alpha_{\text{рад}}$ повинен залишатись однаковим, незалежно від того правильно улаштована крива чи має зсуви назовні й усередині, і дорівнювати

$$\alpha_{\text{рад}} = \frac{2}{a} \sum_{i=1}^N f_i \quad (1)$$

або

$$\alpha_{\text{рад}} = \frac{2}{a} S_{\text{вим}} \quad (2)$$

Оскільки крива розбита на відрізки однакової довжини a , то сума стріл $S_{\text{вим}}$ повинна бути однаковою. Фактично ж сума стріл не постійна (табл. 1).

Згідно з [2] найбільш імовірне відхилення суми обмірюваних стріл від дійсної суми дорівнює

$$|\Delta S_{\text{вим}}| = \tau \sqrt{N}, \quad (3)$$

де τ – точність виміру кожної стріли; $\tau = 1-1,5$ мм; N – кількість точок кривої.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Таблиця 1

Параметри розрахункової кривої

Table 1

Parameters of the calculated curve

Найменування показника	Параметри кривої у відповідні роки			
	2013	2014	2015	2016
Радіус кривої, м	656	649	647	656
Довжина кругової кривої, м	242,83	240,60	240,46	240,00
Довжина першої перехідної кривої, м	90	90	90	90
Довжина другої перехідної кривої, м	110	110	110	70
Підвищення, мм	100	100	100	100
Сума стріл $S_{\text{вим}}$, мм	2 613	2 624	2 641	2 439
Кут повороту $\alpha_{\text{град}}$	29°56'	30°04'	30°16'	27°56'

При $N=48$ для наведеної кривої $|\Delta S_{\text{вим}}|=10$ мм. Фактична різниця між сумами стріл двох різних вимірів (див. табл. 1) значно більше допустимої, що викликає сумніви в якості вихідних даних.

Похибка у визначенні кута повороту в мінутах залежить від точності вимірювання стріл і кількості точок кривої:

$$\Delta\alpha_{\text{хвил}} = \frac{60\pi 10^3 \tau \sqrt{N}}{2 \cdot 180a}. \quad (4)$$

Після підстановки значень отримаємо $\Delta\alpha_{\text{хвил}}=3,4'$. Фактична похибка перевищує допустиму (див. табл. 1).

Визначення параметрів кривих по стрічці колієвимірювального вагону. У деяких роботах, наприклад [8], звертається увага на те, що визначити фактичний радіус кривої колії, підвищення положення зовнішньої рейки, довжину перехідної кривої за записами на стрічці коліє-

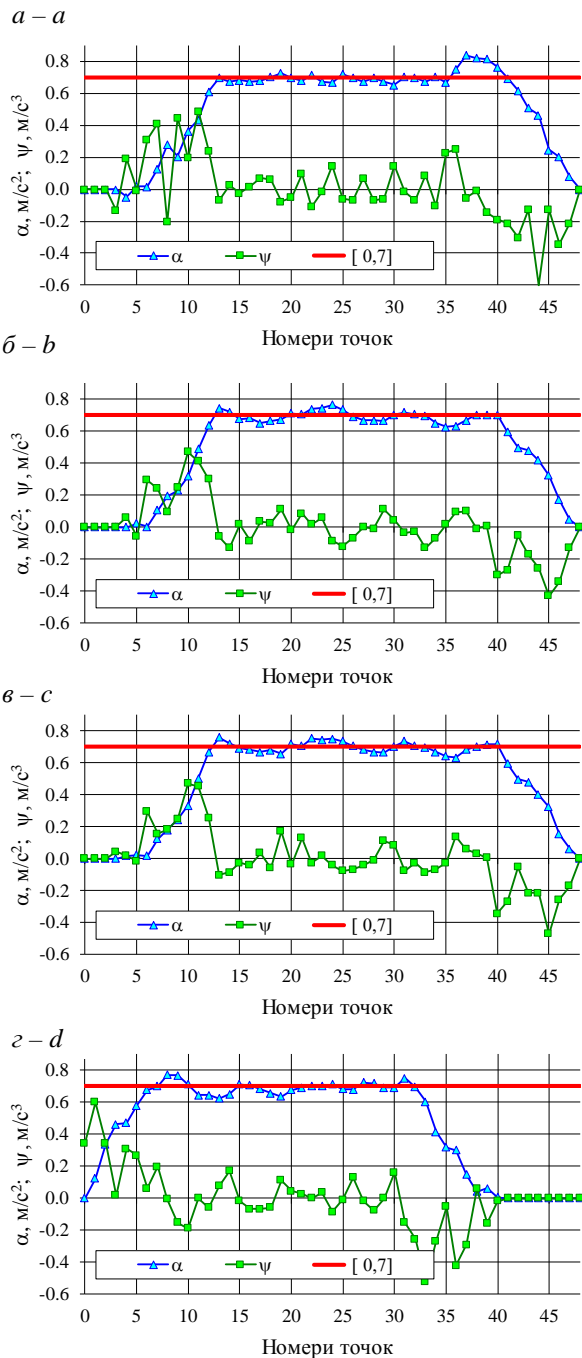


Рис. 2. Непогашені прискорення ($\alpha_{\text{нп}}$) та зміна прискорень у часі (ψ):
а – 2013 р., б – 2014., в – 2015 р., г – 2016 р.

Fig. 2. Unbalanced accelerations (α_{ua}) and accelerations change in time (ψ):
а – 2013 р., б – 2014., в – 2015, д – 2016.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

вимірювального вагону непросто. Особливо складно знайти радіус кругової кривої й поточних значень кривизни в межах перехідної колії.

Якщо розглядати геометрично правильну криву, то задача зводиться до того, щоб знайти перехід від стріли вигину f_a , яка заміряна колієвимірювачем від заднього кінця хорди a (для КВЛ це 4,109 м), при її довжині A (для КВЛ $A=21,495$ м), до стріли $f_{l/2}$, яка заміряна всередині хорди на відстані $l=20$ м, прийнятої при ручних вимірах (рис. 3):

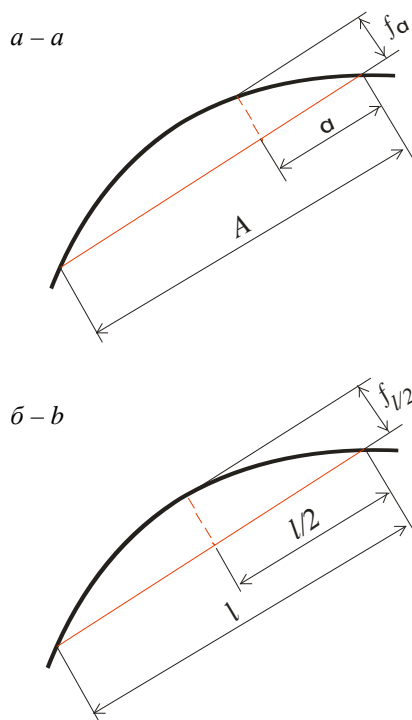


Рис. 3. Положення хорди:
 a – колієвимірювальний вагон; b – ручні виміри

Fig. 3. Chord position:
 a – track-measuring car; b – manual measurements

$$f_{l/2} = f_a k_1 k_2 m, \quad (5)$$

де k_1 – коефіцієнт переходу від стріли, вимірюваної на відстані від кінця хорди a , до стріли, вимірюваної в середині хорди, в межах кругової кривої:

$$k_1 = \frac{A^2}{4a(A-a)}, \quad (6)$$

де k_2 – коефіцієнт переходу від стріли, вимірюваної в середині хорди довжиною A до стріли в середині хорди довжиною l :

$$k_2 = \frac{l^2}{A^2}, \quad (7)$$

де m – масштаб запису на колієвимірювальній стрічці.

При розташуванні колієвимірювального вагону в межах перехідної кривої чи частково на ній, а частково на круговій кривій коефіцієнт k_1 не має однозначного визначення. Також формула (5) стає недейсною при наявності відхилень від геометрично вірного положення кривої [14].

Для попередніх розрахунків за записом, підвищення зовнішньої рейки і стріли вигину на стрічці колієвимірювача усереднюють. У цьому випадку точність визначення геометричних параметрів кривих залежить від того, наскільки правильно будуть побудовані середні лінії за записами на стрічці колієвимірювального вагона.

Отримані в результаті розшифровки колієвимірювальної стрічки характеристики дослідної кривої наведені на рис. 4.

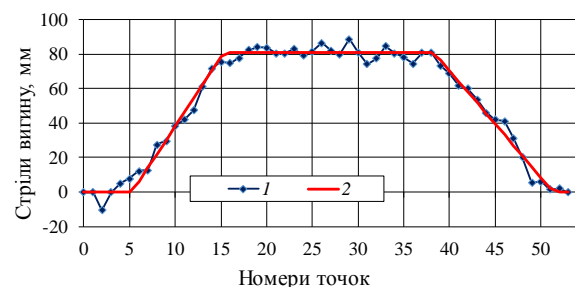


Рис. 4. Стріли вигину існуючої й проектної кривої:
 1 – існуюче положення; 2 – проектне

Fig. 4. Bends deflection of the existing and design curve:

1 – existing position; 2 – design position

Результати розрахунків (графіки непогашених прискорень та зміни цих прискорень у часі) представлено на рис. 5.

Визначення параметрів кривих способом Гонікберга. Зйомка кривої виконується ділянками довжиною, як правило 100 м, (за виключенням першої й останньої), шляхом виміру теодолітом кутів повороту між променями візування і стрілами вигину за рейкою, горизонтально покладеною на рейку. Вважається, що достатня для практичних цілей точність досягається при зйомці кривої не рідше ніж через 20 метрів.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

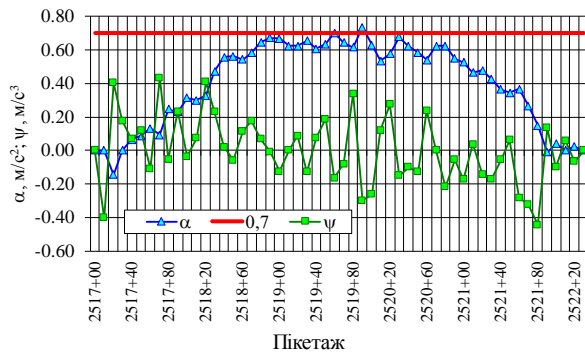


Рис. 5. Непогашені прискорення ($\alpha_{\text{на}}$) та зміна прискорень у часі (ψ)

Fig. 5. Unbalanced accelerations (α_{ua}) and accelerations change in time (ψ)

Як впливає з табл. 2, допустимі швидкості для кривої за даними зйомки за способом стріл, колієвимірювальним вагоном й способом Гонікберга різні. Вони встановлені для однієї й тієї ж кривої за методикою [6]. Причина обмеження швидкості в першому випадку (за способом стріл) – крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки (100 км/год), у другому (за даними колієвимірювальної стрічки) – за критерієм непогашених прискорень (100 км/год) і в третьому (спосіб Гонікберга) – за крутизою відводу підвищення (90 км/год).

З цього й іншого прикладів впливає, що для правильного вирішення питань реконструкції колії й колійних споруд з метою забезпечення на внутрішніх транспортних коридорах швидкості 140–160 км/год необхідно провести на сучасному рівні роботи з паспортизації кривих і встановлення реальної допустимої швидкості руху по них.

Наукова новизна та практична значимість

Враховуючи результати проведеного дослідження, можна констатувати, що на сьогоднішній день існує багато способів, які використовуються для виміру параметрів і стану кривих. Саме вже існування різних способів, що мають практичне застосування, говорить про те, що кожен з них має свої як позитивні, так і негативні якості. Тому для вибору того чи іншого способу треба мати як статистичне, так і математичне обґрунтування.

При виконанні зйомки кривих різними способами – способом стріл (за паспортами кривих дистанцій колії), способом Гонікберга (за планом лінії на поздовжньому профілі), при зйомці плану колії колієвимірювальними вагонами – отримані результати відрізняються між собою. Встановлено, що точність результатів залежить не тільки від параметрів вимірювальних приладів і вміння виконавців, але й від самої методики, яка визначає технологію вимірювання і виконання розрахунків. Це питання стало особливо актуальним при реконструкції плану лінії для впровадження швидкісного руху.

Таблиця 2

Значення параметрів кривої і відповідна допустима швидкість руху

Table 2

Values of the curve parameters and the corresponding permissible speed of movement

Параметр кривої і допустима швидкість руху	Значення параметрів кривої, що отримані різними способами вимірювання		
	спосіб стріл	колієвимірювальна стрічка	спосіб Гонікберга
Кут повороту, град	27° 56'	31° 58'	30° 11'
Радіус, м	656	620	660
Перша перехідна, м	90	100	60
Кругова, м	240,00	230,68	347,69
Друга перехідна, м	70	130	60
Підвищення зовнішньої рейки, мм	100	90	100
Обмеження швидкості:			
– за $\alpha_{\text{на}}$	106	100	106
– за ψ	100	140	90
– за i	124	132	120
Допустима швидкість руху, км/год	100	100	90

Висновки

1. Обмеження швидкості, що встановлені за наказом начальника залізниці, не завжди відповідають реальному стану кривих. Цей факт можна пояснити тим, що в дистанціях колії розрахунки виконуються за спрощеною схемою, не в повному обсязі, як того вимагають Правила ЦП-0236. При заїздах вагонів КВЛ основна увага приділяється трьом параметрам – радіусу колії, підвищенню зовнішньої рейки й крутизні його відводу. Фактично при визначенні максимально допустимої швидкості не враховуються параметри сполучення, які повинні визначатися для суміжних і складених кривих.

2. В умовах українських залізниць проблеми швидкості в двох третинах випадків пов'язані не з радіусом, а з довжиною перехідних кривих колії і прямих вставок між суміжними кривими, а тому при встановленні максимально допустимої швидкості руху на складних ділянках плану залізниці слід приділяти більше уваги суміжним кривим, які підпадають під категорію залежних, тобто таких, коли одна впливає на умови руху поїзда по іншій.

3. Аналіз вихідних даних, отриманих різними способами зйомки плану лінії, показав, що для визначення максимально допустимої швидкості необхідно мати достовірну інформацію про параметри й стан кривих. Перед проведенням реконструкції залізничних напрямків для підвищення швидкості руху поїздів, а тим більше для впровадження швидкісного руху, необхідно проведення паспортизації кривих.

4. Як показала практика, часто використовуються застарілі дані про план лінії, а криві розглядаються як геометрично плавні, без урахування відступів в їх утриманні. Невірогідність інформації може істотно відобразитися на результатах розрахунків з визначення допустимих швидкостей руху, що особливо важливо на швидкісних ділянках. У зв'язку із значними розбіжностями між параметрами плану колії на поздовжньому профілі, у паспорті кривих за натурними вимірами, пропонується провести роботи з паспортизації кривих і встановлення реально допустимої швидкості руху по них з урахуванням сучасного стану колії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вериго, М. Ф. Резервы повышения технических скоростей / М. Ф. Вериго // Ж.-д. трансп. – 1986. – № 10. – С. 17–19.
2. Дюнин, А. К. Аналитический метод проектирования переустройства железнодорожного пути в плане / А. К. Дюнин, А. И. Проценко. – Новосибирск : НИИЖТ, 1967. – 226 с.
3. Курган, Д. М. Діагностування і виправка положення залізничної колії колійними машинами / Д. М. Курган, М. О. Гаврилов // Укр. залізниця. – 2016. – № 8 (38). – С. 60–64.
4. Курган, М. Підготовка колії для підвищення швидкості руху поїздів / М. Курган, Д. Курган, Н. Хмелевська // Укр. залізниця. – 2017. – № 9/10 (51/52). – С. 14–21.
5. Норми допустимих швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 мм : ЦП-0235 : затв. наказом Укрзалізниці від 14.12.2010 р. № 776-Ц. – Київ, 2011. – 51 с.
6. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії : ЦП-0236 : затв. наказом Укрзалізниці від 14.12.2010 р. № 778-Ц / М. Б. Курган, А. М. Орловський, О. М. Патласов, В. В. Циганенко, Д. М. Курган. – Київ, 2010. – 52 с.
7. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії : ЦП-0267 / О. М. Патласов, В. В. Рибкін, Ю. В. Палейчук, С. О. Соломаха, П. В. Панченко. – Київ, 2012. – 25 с.
8. Юрковський, Є. Інноваційні технології діагностики та обслуговування інфраструктури / Є. Юрковський, В. Яковлев // Укр. залізниця. – 2013. – № 5. – С. 18–20.
9. Щербина, Ю. В. Использование ленты вагона-путеизмерителя для определения основных параметров железнодорожной кривой и оценки воздействия подвижного состава на путь в кривой / Ю. В. Щербина, А. С. Саяпин, Л. П. Ватуля / Заліз. трансп. України. – 1997. – № 1. – С. 22–23.
10. Chrostowski, P. Prospects in elongation of railway transition curves / P. Chrostowski, W. Koc, K. Palikowska // Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport. – Thomas Telford Ltd, 2017. – С. 1–28. doi: 10.1680/jtran.17.00097.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

11. Huston, R. L. Minimum Curve Radii for High-Speed Trains, Including the Gyroscopic Moments of the Wheels / R. L. Huston // *World Journal of Engineering and Technology*. – 2016. – Vol. 05. – Iss. 01. – P. 113–124. doi: 10.4236/wjet.2017.51010.
12. Fischer, S. Traction energy consumption of electric locomotives and electric multiple units at speed restrictions / S. Fischer // *Acta Technica Jaurinensis*. – 2015. – Vol. 8. – Iss. 3. – P. 240–256. doi: 10.14513/actatechjaur.v8.n3.384.
13. Mazzola, L. Evaluation of the hunting behaviour of a railway vehicle in a curve / L. Mazzola, S. Alfi, S. Bruni // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. – 2014. – Vol. 229. – Iss. 5. – P. 530–541. doi: 10.1177/0954409713517379.
14. Patlasov, O. M. The Measurement Methodology Improvement of the Horizontal Irregularities in Plan // *Наука та прогрес транспорту*. – 2015. – № 4 (58). – С. 121–131. doi: 10.15802/stp2015/49219.
15. Progress on wheel-rail dynamic performance of railway curve negotiation / K. Wang, C. Huang, W. Zhai, P. Liu, S. Wang // *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. – 2014. – Vol. 1. – Iss. 3. – P. 209–220. doi: 10.1016/S2095-7564(15)30104-5.
16. Specht, C. Computer-aided evaluation of the railway track geometry on the basis of satellite measurements / C. Specht, W. Koc, P. Chrostowski // *Open Engineering*. – 2016. – Vol. 6. – Iss. 1. – P. 125–134. doi: 10.1515/eng-2016-0017.

Н. Б. КУРГАН¹, Д. Н. КУРГАН^{2*}, С. Ю. БАЙДАК³, Н. П. ХМЕЛЕВСКАЯ⁴

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

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

³Каф. «Проектирование и строительство дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, эл. почта baydak86@ukr.net, ORCID 0000-0002-7909-8527

⁴Каф. «Проектирование и строительство дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, эл. почта hmelevnela@gmail.com, ORCID 0000-0002-2360-8671

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В ПЛАНЕ НА ОСНОВЕ РАЗНЫХ МЕТОДОВ СЪЕМКИ

Цель. Основной целью данной работы является анализ существующих методов съемки кривых в плане, исследование влияния ошибок измерения параметров плана на допускаемые скорости движения, разработка рекомендаций по снижению расстройств пути за счет приведения параметров кривых к нормативам, которые действуют в Украине на направлениях ускоренного и скоростного движения поездов. Проблема перестройки кривых не была такой острой, пока не появилась необходимость повышения скоростей движения и мониторинга технического состояния плана пути. Недостовверное определение параметров кривых приводит к необоснованным ограничениям скорости движения или к большим объемам рихтовочных работ. **Методика.** Используемая в работе методика предусматривает всестороннее и детальное изучение разных способов съемки железнодорожных кривых, направленное на разработку и получение оптимальных решений по плану железнодорожного пути. На сегодняшний день существуют разные способы съемки натурной геометрии железнодорожного пути. Для проведения исследований на различных по сложности участках и за продолжительное время эксплуатации железнодорожного пути наиболее удобным, в первую очередь, учитывая регулярность заездов, остается лента путеизмерительного вагона. Однако, этот способ используется для оценки состояния железнодорожного пути, а не для определения точного геометрического положения. Так, при попытке определения по путеизмерительной ленте действительного очертания неровностей пути возникает ряд сложностей. При формировании математической модели существующего плана используется допущение: считается, что три смежные точки на кривой располагаются по окружности. На таком принципе построена работа выправочно-подбивочно-рихтовочных машин. В результате выправочных работ с целью уменьшения объемов рихтовки кривая не отвечает исходным паспортным данным. **Результаты.** Итоги работы вытекают из анализа разных подходов и способов съемки плана линии, влияния параметров кривых на

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

установление допустимой скорости движения. Полученные в работе рекомендации будут способствовать повышению эффективности проектных решений и качеству реконструкции железнодорожного пути в целом. **Научная новизна.** Получили дальнейшее развитие научные подходы по оценке состояния кривых, изучению влияния их параметров на допустимую скорость движения поездов. Дополнена система критериев оценки состояния кривых, влияющих на накопление расстройств пути в плане. **Практическая значимость.** Полученные результаты будут полезны для проведения мероприятий по повышению скорости, улучшению плавности движения поездов и уровня комфортабельности езды на кривых участках пути, особенно на направлениях ускоренного и скоростного движения поездов.

Ключевые слова: скоростное движение поездов; методы съемки кривых; параметры кривых; ошибки измерения; переходная кривая; круговая кривая; допустимая скорость движения поезда

M. B. KURHAN¹, D. M. KURHAN^{2*}, S. Y. BAIDAK³, N. P. KHMELEVSKA⁴

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

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

³Dep. «Roads Design and Construction», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail baydak86@ukr.net, ORCID 0000-0002-7909-8527

⁴Dep. «Roads Design and Construction», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail hmelevnela@gmail.com, ORCID 0000-0002-2360-8671

RESEARCH OF RAILWAY TRACK PARAMETERS IN THE PLAN BASED ON THE DIFFERENT METHODS OF SURVEY

Purpose. The main purpose of this paper is to analyze the existing methods for surveying curves in a plan, to study the influence of the errors in measuring plan parameters on the permitted speeds of motion, to develop recommendations for reducing road disturbances by bringing the parameters of curves to the standards that operate in Ukraine in the directions of accelerated and high-speed train traffic. The problem of restructuring the curves was not so acute until there was a need to increase the speed of motion and technical condition monitoring of the track plan. Unreliable determination of the curves parameters leads to unjustified restrictions in the speed of motion or to large volumes of straightening operations. **Methodology.** The methodology used in the paper provides for a comprehensive and detailed study of different ways of railway curves survey, aimed at developing and obtaining the optimal solutions for the railway track plan. To date, there are different methods of survey the actual geometry of the railway track. To carry out research in various sections of complexity and for a long time of the railway track operation, the most convenient, first of all, considering the regularity of arrivals, there is a tape of the track-measuring car. However, this method is used to assess the state of the railway track, and not to determine the exact geometric position. Thus, when trying to determine the actual outline of the track unevenness using a track-measuring tape, a number of difficulties arise. When forming a mathematical model of the existing plan, the assumption is used: it is considered that three adjacent points on the curve are located along the circumference. The work of track renewal trains is based on this principle. As a result of track renewal operations with the aim of reducing the volume of flattening, the curve does not correspond to the initial passport data. **Findings.** The results of the work come out of the analysis of different approaches and methods of surveying the plan of the line, the parameters influence of the curves on establishing the permissible speed of motion. The recommendations received in the work will help to increase the efficiency of design decisions and the quality of railway track reconstruction as a whole. **Originality.** Scientific approaches to assessing the state of curves, studying the influence of their parameters on the permissible speed of trains, have been further developed. The system of criteria for assessing the state of curves that affect the accumulation of track disturbances in the plan is supplemented. **Practical value.** The results obtained will be useful for carrying out measures to improve speed, improve the smoothness of train traffic and the level of travel comfort on curved track sections, especially in the areas of accelerated and high-speed train traffic.

Key words: high-speed train traffic; methods of curves survey; curve parameters; measurement errors; transition curve; circular curve; permissible train speed

REFERENCES

1. Verigo, M. F. (1986). Rezervy povysheniya tekhnicheskikh skorostey. *Zheleznodorozhnyy transport*, 10, 17-19. (in Russian)
2. Dyunin, A. K., & Protsenko, A. I. (1967). *Analiticheskiy metod proektirovaniya pereustroystva zheleznodorozhnogo puti v plane*. Novosibirsk: NIIZhT. (in Russian)
3. Kurhan, D. M., & Havrylov, M. O. (2016). Diahnostuvannya i vypravka polozhennia zaliznychnoi kolii koliniymy mashynamy. *Ukrainska zaliznytsia*, 8(38), 60-64. (in Ukrainian)
4. Kurhan, M., Kurhan, D., & Khmelevska, N. (2017). Pidhotovka kolii dlia pidvyshchennia shvydkosti rukhu poizdiv. *Ukrainska zaliznytsia*, 9/10(51/52), 14-21. (in Ukrainian)
5. *Normy dopustymykh shvydkostei rukhu rukhomoho skladu po zaliznychnykh koliakh derzhavnoi administratsii zaliznychnoho transportu Ukrainy shyrynoi 1520 mm: TsP-0235: Zatverdzheno nakazom Ukrzaliznytsi vid 14.12.2010 r. № 776-Ts.* (2011). Kiev. (in Ukrainian)
6. Kurhan, M. B., Orlovskiy, A. M., Patlasov, O. M., Tsyhanenko, V. V., & Kurhan, D. M. (2010). *Pravyla vyznachennia pidvyshchennia zovnishnoi reiky i vstanovlennia dopustymykh shvydkostei v kryvykh dliankakh kolii: TsP-0236: Zatverdzheno nakazom Ukrzaliznytsi vid 14.12.2010 r. № 778-Ts.* Kiev. (in Ukrainian)
7. Patlasov, O. M., Rybkin, V. V., Paleichuk, Y. V., Solomakha, S. O., & Panchenko, P. V. (2012). *Tekhnichni vkazivky shchodo otsinky stanu reikovo kolii za pokaznykamy koliiyevyvmiriuvalnykh vahoniv ta zabezpechennia bezpeky rukhu poizdiv pry vidstupakh vid norm utrymannia reikovo kolii: TsP-0267.* Kiev. (in Ukrainian)
8. Yurkovskiy, Y., & Yakovliev, V. (2013). Innovatsiini tekhnolohii diahnostyky ta obsluhovuvannya infrastruktury. *Ukrainska zaliznytsia*, 5, 18-20. (in Ukrainian)
9. Shcherbina, Y. V., Sayapin, A. S., & Vatulya, L. P. (1997). Ispolzovanie lenty vagona-puteizmeritelya dlya opredeleniya osnovnykh parametrov zheleznodorozhnoy krivoy i otsenki vozdeystviya podvizhnogo sostava na put v krivoy. *Railway transport of Ukraine*, 1, 22-23. (in Russian)
10. Chrostowski, P., Koc, W., & Palikowska, K. (2017). Prospects in elongation of railway transition curves. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, 1-28. doi: 10.1680/jtran.17.00097. (in English)
11. Huston, R. L. (2016). Minimum Curve Radii for High-Speed Trains, Including the Gyroscopic Moments of the Wheels. *World Journal of Engineering and Technology*, 05(01), 113-124. doi: 10.4236/wjet.2017.51010. (in English)
12. Fischer, S. (2015). Traction energy consumption of electric locomotives and electric multiple units at speed restrictions. *Acta Technica Jaurinensis*, 8(3), 240-256. doi: 10.14513/actatechjaur.v8.n3.384. (in English)
13. Mazzola, L., Alfì, S., & Bruni, S. (2014). Evaluation of the hunting behaviour of a railway vehicle in a curve. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 229(5), 530-541. doi: 10.1177/0954409713517379. (in English)
14. Patlasov, O. M. (2015). The Measurement Methodology Improvement of the Horizontal Irregularities in Plan. *Science and Transport Progress*, 4(58), 121-131. doi: 10.15802/stp2015/49219. (in English)
15. Wang, K., Huang, C., Zhai, W., Liu, P., & Wang, S. (2014). Progress on wheel-rail dynamic performance of railway curve negotiation. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 1(3), 209-220. doi: 10.1016/S2095-7564(15)30104-5. (in English)
16. Specht, C., Koc, W., & Chrostowski, P. (2016). Computer-aided evaluation of the railway track geometry on the basis of satellite measurements. *Open Engineering*, 6(1), 125-134. doi: 10.1515/eng-2016-0017. (in English)

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О. Л. Тютюкіним (Україна)

Надійшла до редколегії: 05.12.2017

Прийнята до друку: 12.03.2018

UDC 625.141:620.178

S. FISCHER^{1*}, A. NÉMETH²^{1*}Dep. «Transport Infrastructure», Széchenyi István University, Egyetem tér 1., Győr, Hungary, 9026, tel. + 36 (96) 613 544, e-mail fischersz@sze.hu, ORCID 0000-0001-7298-9960²Dep. «Transport Infrastructure», Széchenyi István University, Egyetem tér 1., Győr, Hungary, 9026, tel. + 36 (96) 613 544, e-mail nemeth.attila@sze.hu, ORCID 0000-0002-3477-6902**SPECIAL LABORATORY TESTING METHOD FOR EVALUATION
PARTICLE BREAKAGE OF RAILWAY BALLAST MATERIAL**

Purpose. There are special, standardized laboratory test methods to evaluate railway ballast particle breakage; they are the Los Angeles and the Micro-Deval abrasion test. The authors opine that these methods aren't the most adequate methods to assess the real ballast particle degradation because in reality never occurs these kinds of stresses and strains (i.e. particles in a rotating drum with or without steel balls and with or without water). A new laboratory test procedure is needed. The authors attempted to configure an adequate one in 2014, it is detailed in the paper, as well as the initial results and improvement possibility. This test method is related to dynamic pulsating test, the particle size distributions (PSD) had to be determined before and after fatigue. In 2017-2018 the research is supported by ÚNKP-17-4 program. **Methodology.** Multi-level steel box is utilized with a special layer structure, detailed in the paper. Five different types of railway ballast samples were tested. PSDs were defined, and regarding to the results relationship between ballast particle degradation values (according to Los Angeles and Micro-Deval abrasion tests, as well as this newly developed laboratory test method) was searched, as well as time interval between necessity railway ballast cleaning work was also calculated. **Findings.** The authors sentenced the results regarding to the self-developed laboratory test method that is able to assess the particle degradation and time interval between railway ballast cleaning work more precisely related to the real railway operation circumstances. Relationship was determined between particle breakage according to standardized and unique (non-standardized) laboratory test methods. **Originality.** The paper summarized the results a newly developed laboratory test method for evaluation of the degradation of railway ballast particles. **Practical value.** It sentenced the possibility to improve the measurements and assessments regarding to the research phase supported by the ÚNKP-17-4 project.

Keywords: railway ballast; particle degradation; particle breakage; special laboratory test method; dynamic fatigue test

Purpose

The biggest part of railways in the world (approximately 98.8% that is circa 1.1 million kilometre) has normal ballast bedded superstructure [59], in this way the usage, mechanical bearing, as well as long lifetime of railway ballast material has to be handled with specific attention in the consideration of following viewpoints [49]:

a) ballast bed solidly but flexibly supports vertically the railway track, this layer assures the relevant part of the longitudinal and transversal support with the help of friction and passive earth pressure, all of these parameters affects the geometrical and structural stability of the whole railway track,

b) ballast bed assures the rapid flowing through of water (i.e. precipitation) in the track and ballast bed, relieving the rapid drainage,

c) its texture ensures the relative simple geometrical correction: either with manual or heavy machines; the track geometry will be long-lasting; in case of obligation the ballast material is able to be recycled,

d) its energy damping perform has to be suitable high,

e) it has to decrease the stress from the ties' lower surface with prescribed volume in the accordance of the stress limit of subsoil.

Ballast bed material should have various textural parameters considering the above detailed points, they are the followings without the requirement of fullness:

i) it has to have continuous grading (PSD) according to point a) because this texture is able to guarantee the most excellent ability for compaction, thus proportionately maximal load bearing capacity,

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ii) it has to have uniform grading according to points b) and d) because the proportionately lot of void between grains guarantees the rapid flowing through of water in the structure, as well as the larger energy damping [60],

iii) it has to contain sharp edge grains according to points a) and c) because the largest inner particle friction is able to be expanded, thus durable track geometry (e.g. against vertical deformation) is able to be obtained,

iv) grains with less deterioration (breakage) characteristics have to be applied according to point b), it can be obtained by usage of railway ballast with low Los Angeles and Micro-Deval abrasion values, or by recycled ballast material (perchance by rounded grain material, i.e. river grains) [16, 46],

v) it has to have required and adequate layer width.

In search of relationship between above aspects i) to v), the problem will be evident: using of only granular materials (i.e. without chemicals and geo-synthetics [19]) isn't able to be perfect because either of the base roles and requirements (points a) to e) above) will be influenced, thus ballast bed is able to be constructed regarding to these points. It has to be noticed that bitumen stabilised ballast material is also able to be applied [13].

The railway construction and maintenance profession generally prefers the technique below for railway ballast [49]:

1) it is rather from deep magmatic base rock (perchance sandy gravel or slag in secondary railway lines),

2) it should be made of high strength and frost-proof material,

3) it should have sharp edge, cubic grains without cohesion texture,

4) it should contain proportionately low fine particles and fines.

It should be contemplated that long-lasting railway track geometry depends on contamination of ballast material (it is 76% from grain degradation, 13% from underlying coarse-grained layer [52, 54]). The deteriorated fine particles and fines in the ballast bed effect seepage of the track, it also responds on geometric stability of track (i.e. on endurance of track geometry). It is obvious that degradation of ballast grains can be developed:

– the homogenous stress distribution in the interface of bottom surface of tie and ballast bed, as

well as in the interaction of ballast grains is not accurate at the dimensioning and design of track layer structure and structural elements [25],

– grains aren't loaded by static impacts but dynamic, repeating-pulsating (more million loading cycles) impacts during railway operation, which stress can be developed jerk-like stress (e.g. in case of failures of rail ends, welts) and it is able to attain the plurality of static stresses [31, 34]. It is able to quicken the deterioration process [44],

– in real circumstances there are very large stresses in the interface of ties and ballast grains, including between grains that raises the degradation of grains [25],

– the contact stresses noticed above is able to be reduced by using of e.g. under sleeper pads, or PU foam or bitumen stabilised railway ballast [13].

In this article the authors present the quasi newest international research results linked to railway ballast grain deterioration, afterwards it the laboratory tests' results are detailed which tests are performed in 2014 at SIU, Győr [20, 21] that provided motivation and research basis for the continuance of the research in 2017 and 2018, as well. Research plans are indicated that is able to consider as the fulfilment and improvement of the research executed in 2014.

The authors specify why the now utilized, standardised railway ballast grain abrasion tests should be examined and modified, and they suggest introduction of other, different laboratory test methods.

In the European Union's 2014-2020 Programme Hungarian railway construction and rehabilitation projects is able to be financed by more than thousand billion Hungarian Forints [57], from which support important railway projects can be performed. The very necessary part of these projects is the ballast that is the heaviest component of superstructure. In nowadays practice it is obvious aspect that required quality ballast [9, 14, 35, 36, 39-43, 47, 52, 58] is achievable in prescribed quantity.

In the followings the authors cite those criterions because of that the future view is more shadowed, and which are prescribed that special rock physics tests (Los Angeles and Micro-Deval abrasion tests) are highly suggested with more real loading conditions than the standardised tests considering available stone-rock qualities' limits.

The particles' original – base rock-dependent – abrasion characteristics are able to be hardly al-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

tered by technology procedures, these principally depends on «aggregate wealth» and rocks' mechanical properties. In professional conferences more and more presentations are made about that environmental, nature-reservational, heritage-protective, etc. regulations hitting the stone-mining industry aggravated year by year generally mean such restrictions [35, 36] on the access of the natural «asset» that may lead to complications in base material supply and increasing quality risk on the medium term.

The authors assume that it a base issue that the ability for ballast material is worldwide required the Los Angeles and Micro-Deval abrasion tests [39, 40] in the railway ballast product standard [43]. These kind of laboratory tests can't simulate the real developed stresses of ballast (it should be noticed that in case of e.g. asphalt and concrete road pavements' «stone truss» [2, 27, 28] these laboratory tests are not the best choice). For the objective decision of conformability special laboratory degradation test should be utilized that consider the operation conditions and stresses in more real manner.

Afterwards the international literature review, own, unique solution for a special laboratory test procedure (method) are represented that can simulate the stresses in more realistic method. The results are comparable to the standardised abrasion tests [39, 40], the abrasion qualifying properties utilized worldwide [23, 25, 32], including required cycle of ballast screening work [5, 32].

Methodology

The research topics connected to railway ballast material breakage have worldwide wide-ranging bibliography. Fundamentally the researchers utilized the following methods:

- laboratory testing [1, 4, 6-8, 10, 12, 15-18, 24, 26, 29, 30, 33, 38, 45, 47, 53, 55, 56],
- DEM (discrete element method) simulations and/or 3D grain shape improvements [10, 11, 12, 22, 24, 37, 53, 55],
- FEM (finite element method) simulations [10],
- field tests [3, 16, 46, 48, 50].

The noticed researchers behaved with the main subfields without the requirement of fullness:

- relationship between ballast aggregate degradation, additionally cohesion, inner friction angle

and the water permeability of material and its layer was investigated [29],

- angularity breakage phenomenon [15, 37],
- relationship of PSD of ballast material and its mechanical abrasion was examined, and newly PSD was improved and induced according to more real loading conditions [26, 56],
- volumetric and axial deformations, additionally particle breakage were measured by laboratory triaxial testing regarding to different stress values (main stresses and deviator stresses) [8, 37],
- a special method was developed to be able to define PSD of ballast aggregate with using of ground penetrating radar (GPR) [4, 55],
- at DEM simulations more real particle shape generation method was researched and DEM models were validated [11, 37, 53],
- laboratory and field tests were performed with and without geosynthetic inclusions, ballast material degradation was measured [10, 15, 38, 46],
- tyre derived aggregates (TDA) were tested in case of sand fouled ballasted tracks [18],
- ballast grain degradation due to ballast tamping was investigated [1, 17],
- ballast structure with adhesive material was examined [30].

The significant declarations are below without the requirement of fullness:

- the maximum limit of Los Angeles abrasion in Brazil is 40%, in Australia is 25%, in Canada is 20% [47], the difference between the European ones and mentioned ones is very high,
- the water permeability values of the examined samples were 6.11×10^{-1} , 2.07×10^{-1} , 1.32×10^{-1} and 1.27×10^{-1} cm/s connected to special Los Angeles abrasion tests with 250, 500, 750 and 1000 revolutions, respectively [47]; the value for normal, relatively clean ballast is 3×10^{-1} cm/s [47],
- the higher the deterioration of the sample, the lower the cohesion, but it doesn't affect the inner friction angle [29],
- the load bearing capacity values of both the new and the recycled ballast samples depend on the initial breakage [29],
- the cohesion of ballast samples was approximately zero after 800 revolutions in the Los Angeles drum [29],
- to assess the load bearing capacity of the mixed railway ballast sample (30% new + 70% re-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

cycled) is nearly the same as 100% new ballast sample [29],

- angularity breakage signifies the break-off of the edges and corners of grains that arises at lower stresses [37],

- confining stress plays a relevant role in the particle degradation, the larger the confining stress, the larger the breakage [37],

- the connection between confining stress and deviator stress is linear [37],

- the larger the confining stress, the larger the dilation angle (ψ) [37],

- at low confining stress levels the dilation is significant larger [37],

- the grain breakage develops first at the top and the bottom surfaces of the ballast samples during monotonic triaxial tests in the lab [37],

- the PSD of ballast is able to be defined with 70% accuracy by GPR [4],

- using of thermodynamically consistent hypoplastic model is suitable for assess of ballast degradation, the easy tractability is the benefit of this calculation method [6],

- the examination of the interface of half depth ballast and half depth sub-ballast layer was performed by cyclic triaxial test in the lab, this interface reduces the axial and volumetric deformations at the interface region [8] that will stop in case the initial compactness and the confining stress raise [8],

- the degradation after compaction the laboratory samples was much larger than during and after triaxial tests, the relevant part of the sample's breakage was observed during the first few hundred cycles [8],

- in case the compactness reaches the 98% of beginning compactness, the measured axial deformation approximates the calculated results, the effect of interface on the axial and volumetric strains reduces at 160 kPa confining stress level [8],

- five diverse grain breakage motifs were classified connected to cyclic triaxial laboratory test [8],

- correlated fresh ballast sample and samples from railway track (used ballast) after 5-year operation, the used ones were not liable to break further that is able to be clarified with the grain shape; the inner friction was lower connected to used ballast samples [16],

- the properties of ballast fouled with sand is able to be improved by TDA: e.g. damping coefficient, plastic settlement, degradation; it should be

noticed that the best TDA content is 5% in the accordance with decreasing of grain breakage and stiffness; the larger the sand content, the worse the mechanical properties of the sample [18],

- special Los Angeles laboratory test series without steel balls was executed with hard sand stone railway ballast sample (22.4/63 mm grain size, Los Angeles abrasion value is between 11 and 15%), PSDs of examined samples were defined after 100, 200, 300 and 400 revolutions [55]:

- rate of grains between (40) 50 and 63 mm decreased,

- rate of grains between 22.4 and 40 mm increased,

- rate of grains between 31.5 and 40 mm raised until 200 revolutions, but reduces between 200 and 400 revolutions,

- rate of grains between 22.4 and 31.5 mm raised until 100 revolutions, after it was stabilised,

- rate of grains below 22.4 mm raised relevantly, between 100 and 400 revolutions with nearly same speed, until 100 revolutions more rapidly,

- the grain degradation was larger until 100 revolutions altogether, than afterwards,

- the rate of grains below 22.4 mm after 100 revolutions was more than 3% (mass percentage), after 400 revolutions it was more than 10%,

- the results of GPR measurements were relevantly affected by the petrographic characteristics of fouling and ballast material; the methods below are suggested for analysis of GPR measurements [55]:

- Fast Fourier Transformation (FFT),

- Wavelet Transformation,

- two and three dimensions discrete element simulations,

- according to the results of three dimensions laser scanner tests of ballast grains before and after Los Angeles tests it is able to be determined that the most relevant degradation was at the grain corners; the maximal failure depth was circa 4-9 mm, the average was circa 1 mm; the larger the particle diameter the more important the degradation [24],

- the grain breakage is relevant at low and high confining stresses during laboratory cyclic triaxial tests, in the middle interval the degradation is minimum; there are three well divisible regions [10]:

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- dilatant unstable degradation zone (DUDZ),
- optimum degradation zone (ODZ),
- compressive stable degradation zone (CSDZ),
- the optimum confining stress is circa 30-75 kPa connected to cyclic laboratory triaxial tests, it induces the minimum degradation, it is relevant for maintenance [10],
- the relevant lowest degradation was observed connected to cyclic triaxial laboratory tests according to 1.8 coefficient of uniformity (C_u), it is validated with 3D laser scanner measurements, as well, in the consideration of this point new, better PSD was determined [26],
- new, polymer-based rosin was examined, it advances the mechanical behaviour of ballast material (according to the structural and geometric stability) [30],
- the grain breakage isn't relevant in real railway track until circa the 10,000th axle; in case the value of Los Angeles abrasion value is raised from 24 to 12, the degradation decreases with 50%; in case of used ballast the Los Angeles abrasion test doesn't provide fair results [45],
- fresh ballast material is able to bear nearly 40 tamping cycles without ballast cleaning (screening) [45],
- in case of fresh railway ballast ($C_u=1.5$) both the strains and the breakage were larger than a recycled material ($C_u=1.8$); it can be clarified with the developed contact stresses [5],
- ballast samples' strains are able to be categorised into three well diverse regions according to DEM modelling and cyclic tests in lab [11, 53]:
 - plastic shakedown,
 - plastic creep,
 - incremental collapse,
- in plastic shakedown zone the strain rate quickly reduces below than 10^{-6} , and there are some broken grains [11, 53],
- in the plastic creep zone stable and persistent strain is able to be evolved, there is some broken particles; the region of plastic creep is expanded when the confining stress raises [11, 53],
- in the incremental collapse region grain degradation and plastic strain are able to be detected that is mostly because of shearing failure [11, 53],
- at low level of confining stress, the testing frequency doesn't have affect factor, at larger con-

fining stress the larger the testing frequency the smaller stress is needed to fail (collapse) [11, 53].

In 2014 a research report was written with the finance support of Colas Északkő Ltd.; the public parts were published in [20, 21]. Below these results are shortly detailed.

In the accordance with more real stresses, strains and breakage of ballast material a creative laboratory testing method was developed. Six frames of the ten-level multi-level shear box was used, in the lowest two frames there are 20-cm-thick XPS sheets, above it is 10-cm-thick sand layer and one layer of high strength non-woven geotextile with 1200 g/m² mass, all three in 1.0×1.0 m surface (Figure 1-2).

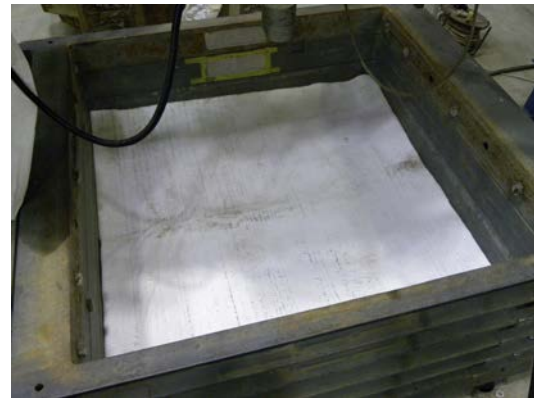


Fig. 1. Steel box (six steel frames) and 1200 g/m² geotextile laid onto 10 cm sand layer



Fig. 2. The «box» built from wooden sleepers

On the geotextile there is 46×46×30 cm (length×width×height) rail-way ballast sample on the center of the 1.0×1.0 m surface, between timber sleepers with 1200 g/m² geotextile coating (Figure 3). 3 million-cycle dynamic pulsation force is applied for each ballast sample. Five different types of 31.5/50 mm, «A» type railway ballast

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

samples (according to EN 13450:2002 standard, all samples were from andesite base rock) were examined (Table 1). Particle size distributions were defined before and after the innovative fatigue tests.



Fig. 3. Geotextile layers glued onto wooden sleepers, and either ballast sample in the «box»

Table 1

**Rock mechanics parameters of ballast samples
(measured by Colas Északkö Ltd.)**

No. of ballast sample	LA _{RB} (%)	M _{DE} RB (%)
511	14.2	3.6
514	16.7	9.7
517	23.8	16
521	18.6	16.7
522	18.55	17

Not only the Los Angeles (LA_{RB}%) and the Micro-Deval abrasion value (M_{DE}RB%) were determined, but particles quantity $d < 22.4$ mm, $d < 0.5$ mm, $d < 0.063$ mm, the ratio d_{60}/d_{10} , as well as M and λ parameters [23], as well.

Findings

PSD diagrams before and after the 3×10^6 pulsating cycles are published in Figures 4-5.

The measured ballast degradation parameters and index numbers for the necessity of ballast sieving were calculated, which were according to the values in Table 2.

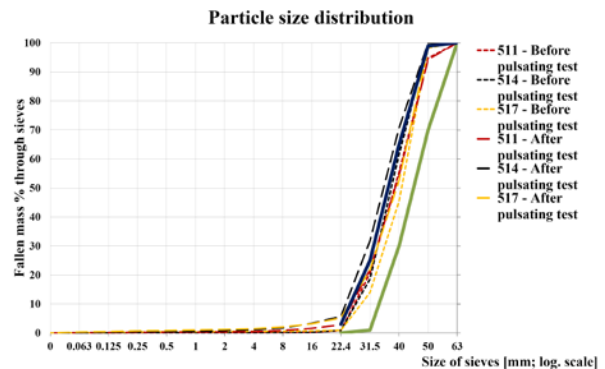


Fig. 4. Particle size distribution diagrams of 511, 514 and 517 ballast samples before and after pulsating test

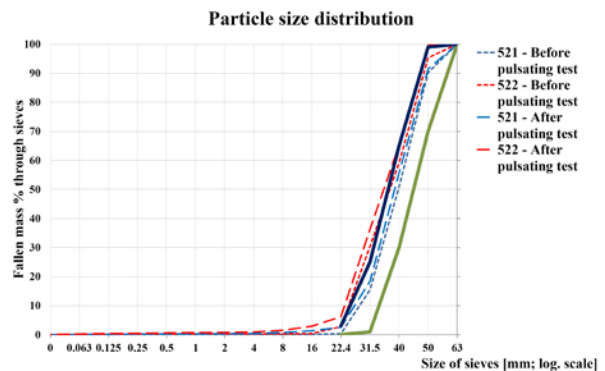


Fig. 5. Particle size distribution diagrams of 521 and 522 ballast samples before and after pulsating test

Table 2

Measured and calculated ballast breakage parameters

Measured and calculated values	No. of ballast sample				
	511	514	517	521	522
LA _{RB} (%)	14.20	16.70	23.80	18.60	18.55
M _{DE} RB (%)	3.60	9.70	16.00	16.70	17.00
LA _{RB} +M _{DE} RB	17.80	26.40	39.80	35.30	35.55
F _V (BP) (%)	1.535	1.434	3.510	0.880	3.561
F _V (AP) (%)	5.325	10.668	12.066	4.626	10.643
ΔF _V (%)	3.790	9.234	8.556	3.746	7.082

Measured and calculated values	No. of ballast sample				
	511	514	517	521	522
d<22.4 mm (BP) (%)	0.851	0.918	0.963	0.333	2.784
d<22.4 mm (AF) (%)	2.812	5.739	5.197	2.535	6.188
$\Delta d<22.4$ mm (%)	1.961	4,821	4.233	2.202	3.404
d<0.5 mm (BP) (%)	0.153	0.116	0.408	0.108	0.246
d<0.5 mm (AP) (%)	0.253	0.417	0.841	0.241	0.572
$\Delta d<0.5$ mm (%)	0.100	0.302	0.432	0.133	0.326
d<0.063 mm (BP) (%)	0.054	0.039	0.108	0.064	0.120
d<0.063 mm (AP) (%)	0.118	0.150	0.328	0.082	0.234
$\Delta d<0,063$ mm (%)	0.064	0.111	0.220	0.018	0.114
BBI	0.018	0.248	0.149	0.077	0.195
d_{60}/d_{10} (BP)	1.547	1.466	1.489	1.500	1.624
d_{60}/d_{10} (AP)	1.603	1.577	1.663	1.536	1.633
$\Delta d_{60}/d_{10}$	0.057	0.110	0.174	0.036	0.008
M (BP)	271.74	281.02	258.69	256.86	287.53
M (AP)	273.38	308.21	278.44	268.11	307.74
λ (BP)	1.072	1.109	1.020	1.013	1.134
λ (AP)	1.078	1.216	1.098	1.058	1.214

In Table 2 «BP» and «AP» abbreviations signify «before pulsating test» and «after pulsating test».

In Table 2 the d<22.4 mm, the d<0.5 mm, the d<0.063 mm and the d_{60}/d_{10} , as well as the calculated values of M and λ parameters described in literature [23], are indicated.

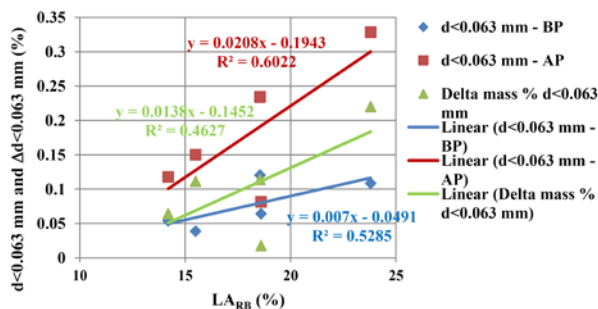


Fig. 6. Parameters d<0.063 mm and $\Delta d<0.063$ mm as a function of LA_{RB} (%)

Breakage parameters in Table 1 in function of LA_{RB} (%), M_{DERB} (%), and „ $LA_{RB} + M_{DERB}$ » measured and calculated rock mechanics parameters of the ballast samples were described in several graphs. Due to content limit only one graph will be published (Figure 6).

According to the results, the following assertions can be formulated:

– there is no considerable correlation between any material characteristics related to grain breakage and their variation, moreover the measured and calculated rock mechanic properties. This result wasn't unforeseen because of the base assemblage of laboratory tests (rotating steel drum full with ballast grains with or without steel balls vs. a «box» full with ballast, pulsated by dynamic cyclic loads),

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

– in the paper [17] the grain breakage due to ballast tamping was investigated in the laboratory, its authors couldn't confirm correlation between the Los Angeles abrasion value of the samples and the grains' shape characteristics,

– the needed cycle values of ballast screening work were calculated in the accordance with the earlier practice data of MÁV (Hungarian Railways) and international bibliography [5, 33].

Originality and practical value

The authors have supplementary plans compared to the research executed in 2014: more accurate measurement of the variation of ballast grains' degradation as a function of pulsating cycles (or elapsed time during the fatigue test) with the manner detailed below:

– testing of minimum two types of ballast samples with diverse rock mechanic properties,

– minimum three separate measures connected to certain railway ballast material samples, definition of PSD before and after fatigue tests with the following load cycles: 0.1 million; 0.2 million; 0.5 million; 1 million and 1.5 million (the ÚNKP project doesn't finance the laboratory measurements until 3 million loading cycles),

– separate ballast sample has to have for each fatigue test, i.e. the test series will be like the following:

- ballast sample should be cleaned and washed (the particles more than 22.4 mm are needed for the tests),
- PSD should be determined (BP – before pulsating test),
- 0.1 million loading cycles should be utilized,
- PSD should be determined (AP – after pulsating test),
- the ballast sample has to be thrown away,
- another (new) ballast sample should be cleaned and washed (the grains more than 22.4 mm are needed for tests),
- PSD should be measured (BP – before pulsating test),
- 0.2 million loading cycles should be used,

- PSD should be determined (AP – after pulsating test),

- the ballast sample has to be thrown away,

- etc. until 1.5 million loading cycles.

– grain quantity $d < 22.4$ mm, $d < 0.5$ mm, $d < 0.063$ mm, the ratio d_{60}/d_{10} , moreover M and λ parameters should be defined,

– the goal is to effort determine mathematical-physical trends and correlation between characteristics (see above point) and loading cycles.

The noticed measurements will also be performed using of fresh railway ballast samples from andesite base rocks, as these measurements were executed in the research in 2014. The dynamic fatigue test series will be able to be begun in March, 2018, the full results is able to be published in May-June, 2018.

Conclusions

This article details a research's introductory results (literature review) supported by ÚNKP-17-4 New National Excellence Program of Ministry of Human Capacities. The exact topic in the ÚNKP project is the «Innovative breakage test method of railway ballast material». The up-to-date international research achievements were resulted related to standardized and non-standardized, additionally separate laboratory breakage test methods and discrete element simulations of ballast materials. Afterwards these points the results of the research test series performed at the Széchenyi István University (SIU) in the year 2014 were shortly presented. It provided a concept and research base for the extension of the research between 2017 and 2018, as well. The new research plan was introduced and detailed for the new R&D, it can be scored as the enhancement of the earlier research. The authors would like to prepare the continuation of this article with the details of the fulfilled R&D.

Acknowledgements

This paper is supported by the ÚNKP-17-4 New National Excellence Program of Ministry of Human Capacities.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Al-Saoudi, N. K. S. Behaviour of Track Ballast Under Repeated Loading / Namir K. S. Al-Saoudi, Khawla H. Hassan // *Geotechnical and Geological Engineering*. – 2013. – Vol. 32. – Iss. 1. – P. 167–178. doi: 10.1007/s10706-013-9701-z.
2. Ambrus, K. Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok aszfaltkeverékek gyártásához, felületi bevonatok készítéséhez [Electronic resource] / K. Ambrus, I. Pallós. – 2012. – Available at: <http://docplayer.hu/9502775-Utepitesi-zuzottkovek-es-zuzottkavicsok-aszfaltkeverek-gyartasahoz-feluleti-bevonatok-keszitesehez.html>. – Title from the screen. – Accessed : 23.04.2018.
3. Anbazhagan, P. Study of ballast fouling in railway track formations / P. Anbazhagan, T. P. Bharatha, G. Amarajeevi // *Indian Geotechnical Journal*. – 2012. – Vol. 42. – Iss. 2. – P. 87–99. doi: 10.1007/s40098-012-0006-6.
4. An Investigation into the railway ballast grading using GPR and image analysis / M. G. Brancadoro, L. Bianchini Ciampoli, C. Ferrante, A. Benedetto, F. Tosti, A. M. Alani // *9th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR) : Conference Paper (Edinburgh, 2017, June 28–30)*. – Edinburgh, Scotland, 2017. doi: 10.1109/IWAGPR.2017.7996043.
5. Arangie, P. B. D. The influence of ballast fouling on the resilient behaviour of the ballast pavement layer // *Proc. of 6th Intern. Heavy Haul Railway Conf. (Cape Town, 1997, April 6–10)*. – Cape Town, 1997. – P. 241–256.
6. Bajpai, P. Theoretical assessment of railway ballast degradation under cyclic loading / P. Bajpai, A. Das // *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields : Proc. of the 10th Intern. Conf. (June 28–30, 2017, Athens, Greece)*. – London, 2017. doi: 10.1201/9781315100333-267.
7. *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields : Proc. of the 10th Intern. Conf. (June 28–30, 2017, Athens, Greece)*. – London, 2017. – 394 p.
8. Bian, X. Experimental study on cyclic deformation and particle breakage of railway ballast / X. Bian, D. Sun, W. Li // *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields : Proc. of the 10th Intern. Conf. (June 28–30, 2017, Athens, Greece)*. – London, 2017. – P. 1801–1809.
9. Claisse, P. Rail ballast: conclusions from a historical perspective / P. Claisse, C. Calla // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Transport*. – 2006. – Vol. 159. – Iss. 2. – P. 69–74. doi: 10.1680/tran.2006.159.2.69.
10. Christie, D. The performance of rail track incorporating the effects of ballast breakage, confining pressure and geosynthetic reinforcement / D. Christie, S. Nimbalkar, B. Indraratna // *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields : Proc of the 8th Intern. Conf. (June 29–July 2, 2009, University of Illinois at Urbana, Champaign, Illinois, USA)*. – London, 2009. – P. 5–24.
11. Cumulative deformation characteristic and shakedown limit of railway ballast under cyclic loading / J. Xiao, D. Zhang, Y. Wang, Z. Luo // *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields : Proc. of the 10th Intern. Conf. (June 28–30, 2017, Athens, Greece)*. – London, 2017. – P. 1899–1904.
12. Current research into ballasted rail tracks: model tests and their practical implications / B. Indraratna, Q. Sun, N. T. Ngo, C. Rujikiatkamjorn // *Australian Journal of Structural Engineering*. – 2017. – Vol. 18. – Iss. 3. – P. 204–220. doi: 10.1080/13287982.2017.1359398.
13. D'Angelo, G. Optimisation of bitumen emulsion properties for ballast stabilisation / G. D'Angelo, D. Lo Presti, N. Thom // *Materiales de Construcción*. – 2017. – Vol. 67. – Iss. 327. – P. 124. doi: 10.3989/mc.2017.04416.
14. DB. «TL DBS 918 061: Technische Lieferbedingungen Gleisschotter» (TL DBS 918 061: Technical delivery conditions Railway ballast). – Berlin, 2006/08.
15. DEM analysis of angular ballast breakage under cyclic loading / Z. Hossain, B. Indraratna, F. Darve, P. K. Thakur // *Geomechanics and Geoengineering*. – 2007. – Vol. 2. – Iss. 3. – P. 175–181. doi: 10.1080/17486020701474962.
16. Diógenes, D. F. Evaluation of the ballast aggregates shape properties using digital image processing techniques / D. Diógenes, R. Maia, V. Castelo // *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields : Proc. of the 10th Intern. Conf. (June 28–30, 2017, Athens, Greece)*. – London, 2017. – P. 2003–2008.
17. Douglas, S. C. Ballast Quality and Breakdown during Tamping / S. Caleb Douglas // *2013 Joint Rail Conference : Conf. Paper (Knoxville, Tennessee, USA, April 15–18, 2013)*. – 2013. doi: 10.1115/JRC2013-2553.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

18. Esmaili, M. Experimental assessment of cyclic behavior of sand-fouled ballast mixed with tire derived aggregates // M. Esmaili, P. Aela, A. Hosseini // *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. – 2017. – Vol. 98. – P. 1–11. doi: 10.1016/j.soildyn.2017.03.033.
19. Fischer, Sz. A vasúti zúzottkő ágyazat alá beépített georácsok vágánygeometriát stabilizáló hatásának vizsgálata : PhD thesis / Sz. Fischer ; Széchenyi István Egyetem. – Győr, 2012. – 148 p.
20. Fischer, Sz. A vasúti zúzottkövek aprózódásvizsgálata egyedi laboratóriumi módszerrel / Sz. Fischer // *Sínek Világa*. – 2015. – Vol. 57, No 3. – P. 12–19.
21. Fischer, Sz. Breakage Test of Railway Ballast Materials with New Laboratory Method / Szabolcs Fischer // *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. – 2017. – Vol. 61, No 4. – P. 794–802. doi: 10.3311/PPci.8549.
22. Gaitskell, P. Use of digital imaging for gradation and breakage of railway ballast / Peter Gaitskell1, Mohamed A. Shahin // *Australian Geomechanics*. – 2013. – Vol. 48. – P. 81–88.
23. Gálos, M. Ágyazati kőanyagok: A kutatás eredményei. 2 rész. / M. Gálos, L. Kárpáti, D. Szekeres // *Sínek Világa*. – 2011. – Vol. 55, No 1. – P. 6–13.
24. Guo, Y. L. Ballast degradation analysis by Los Angeles Abrasion test and image analysis method / Y. L. Guo, G. Q. Jing // *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields : Proc. of the 10th Intern. Conf. (June 28–30, 2017, Athens, Greece)*. – London, 2017. – P. 1811–1815.
25. Indraratna, B. Advanced rail geotechnology – Ballasted track / Buddhima Indraratna, Wadud Salim, Cholachat Rujikiatkarnjorn. – London : CRC Press, 2011. – 432 p.
26. Indraratna, B. Laboratory assessment of the role of particle size distribution on the deformation and degradation of ballast under cyclic loading / Buddhima Indraratna, Yifei Sun, Sanjay Nimbalkar // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. – 2016. – Vol. 142. – Iss. 7. – P. 0401601601–0401601612. doi: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001463.
27. Kausay, T. Adalékanyagok közetfizikai tulajdonságai. Út- és hídépítési műszaki előírások és alkalmazási tapasztalataik [Electronic resource] / T. Kausay. – Budapest, 2011. – Available at: <http://www.betonopus.hu/szakmernoki/kozut-2-adalekanyag-kozetfizika.pdf>. – Title from the screen. – Accessed : 03.05.2018.
28. Kausay, T. Zúzott betonadalékanyagok közetfizikai tulajdonságai a szabályozásban / T. Kausay // *Mérnökgeológia Közetmechanika 2008*. – Budapest, 2008. – P. 259–270.
29. Kolos, A. Change of ballast strength properties during particle abrasive wear / Alexey Kolos, Anastasia Konon, Pavel Chistyakov // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 189. – P. 908–915.
30. Kondratov, V. The development of a high performance material for a ballast layer of a railway track / Valery Kondratov, Valentina Solovyova, Irina Stepanova // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 189. – P. 823–828.
31. Kurhan, M. B. Railway Track Representation in Mathematical Model of Vehicles Movement / M. B. Kurhan, D. M. Kurhan // *Hayka ta прогрес транспорту*. – 2017. – № 6 (67). – С. 40–48. doi: 10.15802/stp2017/118380.
32. Lichtberger, B. Track compendium: Formation, Permanent Way, Maintenance, Economics / B. Lichtberger. – Hamburg : Eurailpress Tetzlaff-Hestra GmbH & Co, 2005. – 634 p.
33. McDowell, G. Performance of geogrid-reinforced ballast / Glenn McDowell, Peter Stickley // *Ground Engineering*. – 2006. – January. – P. 4–6.
34. Major, Z. Special problems of interaction between railway track and bridge / Z. Major // *Pollack Periodica*. – 2013. – Vol. 8. – Iss. 2. – P. 97–106. doi: 10.1556/Pollack.8.2013.2.11.
35. MÁV. «A 102345/1995 PHMSZ előírás 3. számú módosítása» (Modification 3 in MÁV 102345/1995 PHMSZ. 'Railway substructure and ballast quality acceptance regulations instruction'). – Budapest, 2008. – 5 p.
36. MÁV. «A 102345/1995 PHMSZ előírás 4. számú módosítása». (Modification 4 in MÁV 102345/1995 PHMSZ. 'Railway substructure and ballast quality acceptance regulations instruction'). – Budapest, 2010. – 14 p.
37. Micro-analysis of Ballast Angularity Breakage and Evolution by Monotonic Triaxial Tests / Guixian Liu, Guoqing Jing, Dong Ding, Xiaoyi Shi // *Environmental Vibrations and Transportation Geodynamics*. – Singapore, 2017. – P. 133–144. doi: 10.1007/978-981-10-4508-0_12.
38. Migration of fine particles from subgrade soil to the overlying ballast / G. S. Ghataora, M. P. N. Burrow, R. S. Kamalov, M. Wehbi, P. Musgrave // *Railway Engineering – 2017 : Conf. Paper (Edinburgh, 2017, June 21–22)*. – Edinburgh, 2017.
39. MSZ EN 1097-1:2012. «Kőanyag-halmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A kopásállóság vizsgálata (mikro-Deval)». (Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of the resistance to wear (micro-Deval)). – Budapest, 2012. – 35 p.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

40. MSZ EN 1097-2:2010. «Kőanyaghalmozatok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: Az aprózódással szembeni ellenállás meghatározása». (Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Methods for the determination of resistance to fragmentation). – Budapest, 2010. – 35 p.
41. MSZ EN 933-3: Kőanyaghalmozatok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 3. rész: A szemalak meghatározása. Lemezességi szám. – Budapest, 2012. – 12 p.
42. MSZ EN 1367-2: Kőanyaghalmozatok termikus tulajdonságainak és időjárás-állóságának vizsgálati módszerei. 2. rész: Magnézium-szulfátos eljárás. – Budapest, 2010. – 16 p.
43. MSZ EN 13450:2003. «Kőanyaghalmozatok vasúti ágyazathoz». (Aggregates for railway ballast). – Budapest, 2003. – 33 p.
44. Nagy, R. Description of rail track geometry deterioration process in Hungarian rail lines No. 1 and No. 140 / R. Nagy // Pollack Periodica. – 2017. – Vol. 12. – Iss. 3. – P. 141–156. doi: 10.1556/606.2017.12.3.13.
45. Nålund, R. Prediction of railway ballast service life / R. Nålund // Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields : Proc. of the 10th Intern. Conf. (June 28–30, 2017, Athens, Greece). – London, 2017. – P. 2055–2061. doi: 10.1201/9781315100333-291.
46. Nimbalkar, S. Field assessment of ballasted railroads using geosynthetics and shock mats / S. Nimbalkar, B. Indraratna // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 143. – P. 1485–1494. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.175.
47. Pavia, C. E. L. Study Of Railway Ballast Fouling By Abrasion-Originated Particles / Cassio E. L. de Paiva, Mauro L. Pereira, Lia L. Pimentel // Railway Engineering – 2017 : Proc. of the 14th Intern. Conf. (Edinburgh, Scotland, UK, 21st–22nd June 2017). – Edinburgh, 2017.
48. Performance Assessment of Synthetic Shock Mats and Grids in the Improvement of Ballasted Tracks / B. Indraratna, S. Nimbalkar, C. Rujikiatkamjorn, T. Neville, D. Christie // Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris, 2013. – P. 1283–1286.
49. Railway Construction / Sz. Fisher, B. Eller, Z. Kada, A. Németh. – Győr : Universitas-Győr Nonprofit Kft., 2015. – 334 p.
50. Roadbed improvement of an existing railway line located in cold region by reusing crushed deteriorated ballast / L. Fu, J. Xiao, S. Zhou, D. Zhang, Y. Wang, W. Liu, L. Jiang // Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields : Proc. of the 10th Intern. Conf. (June 28–30, 2017, Athens, Greece). – London, 2017. – P. 1845–1850.
51. Sadeghi, J. M. Developing Track Ballast Characteristic Guideline In Order To Evaluate Its Performanc / J. M. Sadeghi, J. Ali Zakeri, M. Emad Motieyan Najar // International Journal of Railway. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 2. – P. 27–35. doi: 10.7782/IJR.2016.9.2.027.
52. Selig, E. T. Track Geotechnology and Substructure Management Ernest / T. Selig, John M. Waters. – London : Thomas Telford, 1994. – 446 p.
53. Shakedown behaviors of railway ballast under cyclic loading / Junhua Xiao, De Zhang, Kai Wei, Zhe Luo // Construction and Building Materials. – 2017. – Vol. 155. – P. 1206–1214. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.225.
54. Shi, X. Prediction of permanent Deformation in Railway Track : PhD thesis / X. Shi ; University of Nottingham. – Nottingham, 2009. – 262 p.
55. Some results on the properties and behavior of railway ballast / E. Fortunato, A. Paixão, S. Fontul, J. Pires // Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields : Proc. of the 10th Intern. Conf. (June 28–30, 2017, Athens, Greece). – London, 2017. – P. 1877–1884.
56. Sun, Y. Identification of ballast grading for rail track / Yifei Sun, Chen Chen, Sanjay Nimbalkar // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2017. – Vol. 9. – Iss. 5. – P. 945–954. doi: 10.1016/j.jrmge.2017.04.006.
57. Szalóki, F. Múlt, jelen, jövő az EU-s támogatások tükrében [Electronic resource] // XVIII Közlekedésfejlesztési és Beruházási Konferencia (Bükkfűrdő, 2017, April 26–28). – Bükkfűrdő, 2017. – Available at: <http://ktenet.hu/download.php?edid=1484>. – Title from the screen. – Accessed : 28.02.2018.
58. Track ballast in Austria: Parts 1, 2, 3 [Electronic resource]. – P. 1–11. – Available at: https://www.plassertheurer.com/fileadmin/user_upload/Mediathek/Publikationen/ri_12888990.pdf. – Title from the screen. – Accessed : 14.05.2018.
59. Weinreich, Z. Nagysebességű vasutak pályafenntartási kitűzése / Z. Weinreich // Sínek Világa. – 2011. – Vol. 53, No 6. – P. 27–31.
60. Wichtmann, T. Effect of uniformity coefficient on G/Gmax and damping ratio of uniform to well graded quartz sands / T. Wichtmann, T. Triantafyllidis // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. – 2013. – Vol. 139. – Iss. 1. – P. 59–72.

С. ФІШЕР^{1*}, А. НЕМЕС²

^{1*}Каф. «Інфраструктура транспорту», Університет Іштвана Сечені, пл. Університетська, 1, Д'єр, Угорщина, 9026, тел. + 36 (96) 613 544, ел. пошта fischersz@sze.hu, ORCID 0000-0001-7298-9960

²Каф. «Інфраструктура транспорту», Університет Іштвана Сечені, пл. Університетська, 1, Д'єр, Угорщина, 9026, тел. + 36 (96) 613 544, ел. пошта nemeth.attila@sze.hu, ORCID 0000-0002-3477-6902

СПЕЦІАЛЬНИЙ МЕТОД ЛАБОРАТОРНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ ОЦІНКИ РУЙНУВАННЯ ЧАСТОК МАТЕРІАЛУ ЗАЛІЗНИЧНОГО БАЛАСТУ

Мета. Існують спеціальні стандартизовані методи лабораторних випробувань для оцінки руйнування часток залізничного баласту: це установки для тестів на стирання Лос-Анджелес і Мікро-Деваль. Автори вважають, що ці методи не є достатньо адекватними для оцінки реального руйнування часток баласту, оскільки в дійсності такі напруження й деформації не відбуваються (як у барабані, що обертається, з або без сталених кульок та з водою й без води). Потрібна нова процедура лабораторних випробувань, тому метою статті є обґрунтування нової процедури цих випробувань. У 2014 році автори зробили спробу конфігурації адекватного методу і оприлюднили перші результати. Цей метод випробувань пов'язаний з динамічним пульсуючим тестом, причому розподілення розмірів часток (РРЧ) визначається як до, так і після деформацій втоми. В 2017–2018 рр. дослідження отримали новий розвиток за підтримки програми UNKP-17-4. **Методика.** Автори застосовують багаторівневу сталю коробку зі спеціальною структурою шарів, докладно опис наведено в роботі. Було випробувано п'ять різних типів зразків залізничного баласту. Були визначені характеристики РРЧ, в тому числі й у вигляді співвідношення між показниками руйнування частинок баласту за іншими методами (у відповідності до випробувань на стирання в установках Лос-Анджелес, Мікро-Деваль та новим розробленим лабораторним методом випробувань). Також було визначено часовий інтервал між необхідними роботами з очищення баласту залізничної ділянки. **Результати.** Автори отримали результати, що показують напрямок подальшого розвитку лабораторного методу випробувань, який дає можливість оцінити руйнування часток та визначити часовий інтервал між роботами з очищення баласту на залізничній ділянці, більш точно пов'язаний з реальними умовами експлуатації залізничної колії. Показники руйнування часток наводяться як у відповідності до стандартизованих методів лабораторних випробувань, так і в унікальному (не стандартизованому) виді. **Наукова новизна.** В роботі об'єднані результати розробленого методу лабораторних випробувань для оцінки руйнування часток залізничного баласту. **Практична значимість.** Обґрунтовано рекомендації щодо подальшого вдосконалення вимірювань і отримання реальних оцінок в рамках програми досліджень за підтримки проекту UNKP-17-4.

Ключові слова: залізничний баласт; знос часток; руйнування часток; спеціальний метод лабораторних досліджень; динамічний тест на стирання

С. ФИШЕР^{1*}, А. НЕМЕС²

^{1*}Каф. «Инфраструктура транспорта», Университет Иштвана Сечени, пл. Университетская, 1, Дьер, Венгрия, 9026, тел. + 36 (96) 613 544, эл. почта fischersz@sze.hu, ORCID 0000-0001-7298-9960

²Каф. «Инфраструктура транспорта», Университет Иштвана Сечени, пл. Университетская, 1, Дьер, Венгрия, 9026, тел. + 36 (96) 613 544, эл. почта nemeth.attila@sze.hu, ORCID 0000-0002-3477-6902

СПЕЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАЗРУШЕНИЯ ЧАСТИЦ МАТЕРИАЛА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО БАЛЛАСТА

Цель. Существуют специальные стандартизированные методы лабораторных испытаний для оценки разрушения частиц железнодорожного балласта: это установки для тестов на истирание Лос-Анджелес и Микро-Деваль. Авторы полагают, что эти методы не являются достаточно адекватными для оценки реаль-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ного разрушения частиц балласта, поскольку в действительности данные виды напряжений и деформаций не происходят (как во вращающемся барабане со стальными шариками или без них, и с водой или без воды. Необходима новая процедура лабораторных испытаний, поэтому целью статьи является обоснование новой процедуры этих испытаний. В 2014 году авторы сделали попытку сконфигурировать адекватный метод и опубликовали первоначальные результаты. Этот метод испытаний связан с динамическим пульсирующим тестом, причем распределение размеров частиц (РРЧ) должно определяться как до, так и после усталостных деформаций. В 2017–2018 гг. исследования получили новое развитие при поддержке программы UNKP-17-4. **Методика.** Авторы используют многоуровневую стальную коробку со специальной структурой слоев, представляют подробное ее описание в статье. Проведено испытание пяти различных типов образцов железнодорожного балласта, определены характеристики РРЧ, в том числе и в виде соотношения между показателями разрушения частиц балласта по другим методам (в соответствии с испытаниями на истирание в установках Лос-Анджелес, Микро-Деваль, и новым разработанным лабораторным методом испытаний). Также определен временной интервал между необходимыми работами по очистке балласта железнодорожного участка. **Результаты.** Авторы получили результаты, показывающие направление дальнейшего развития лабораторного метода испытаний, который дает возможность оценить разрушение частиц и определить временной интервал между работами по очистке балласта на железнодорожном участке более точно в зависимости от реальных условий эксплуатации железной дороги. Показатели разрушения частиц приводятся как в соответствии со стандартизированными методами лабораторных испытаний, так и в уникальном (не стандартизированном) виде. **Научная новизна.** В работе обобщены результаты разработанного метода лабораторных испытаний для оценки разрушения частиц железнодорожного балласта. **Практическая значимость.** Обоснованы рекомендации по дальнейшему усовершенствованию измерений и получению реальных оценок в рамках программы исследований, поддерживаемой проектом UNKP-17-4.

Ключевые слова: железнодорожный балласт; износ частиц; разрушение частиц; специальный метод лабораторных испытаний; динамический тест на истирание

REFERENCES

1. Al-Saoudi, Namir K. S., & Hassan, Khawla H. (2013). Behaviour of Track Ballast Under Repeated Loading. *Geotechnical and Geological Engineering*, 32(1), 167-178. doi: 10.1007/s10706-013-9701-z. (in English)
2. Ambrus, K., & Pallós, I. (2012). *Útéptéti zúzottkövek és zúzottkavicsok aszfaltkeverékek gyártásához, felületi bevonatok készítéséhez*. Retrieved from <http://docplayer.hu/9502775-Utepitesi-zuzottkovek-es-zuzottkavicsok-aszfaltkeverek-gyartasahoz-feluleti-bevonatok-kesziteséhez.html>. (in Hungarian)
3. Anbazhagan, P., Bharatha, T. P., & Amarajeevi, G. (2012). Study of ballast fouling in railway track formations. *Indian Geotechnical Journal*, 42(2), 87-99. doi: 10.1007/s40098-012-0006-6. (in English)
4. Brancadoro, M. G., Bianchini Ciampoli, L., Ferrante, C., Benedetto, A., Tosti, F., & Alani, A. M. (2017). An Investigation into the railway ballast grading using GPR and image analysis. *9th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR): Conference Paper (Edinburgh, June 28-30)*. doi: 10.1109/IWAGPR.2017.7996043. (in English)
5. Arangie, P. B. D. (1997). The influence of ballast fouling on the resilient behaviour of the ballast pavement layer. *Proc. of 6th Intern. Heavy Haul Railway Conference (Cape Town, April 6-10)*, 241-256. (in English)
6. Bajpai, P., & Das, A. (2017). Theoretical assessment of railway ballast degradation under cyclic loading. *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields: Proc. of the 10th Intern. Conference (June 28-30, Athens, Greece)*. doi: 10.1201/9781315100333-267. (in English)
7. Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields: Proc. of the 10th Intern. Conference (June 28-30, Athens, Greece). (2017). London. (in English)
8. Bian, X., D., Sun, D., & Li, W. (2017). Experimental study on cyclic deformation and particle breakage of railway ballast. *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields: Proc. of the 10th Intern. Conference (June 28-30, Athens, Greece)*, 1801-1809. (in English)
9. Claisse, P., & Calla, C. (2006). Rail ballast: conclusions from a historical perspective. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, 159(2), 69-74. doi: 10.1680/tran.2006.159.2.69. (in English)
10. Christie, D., Nimbalkar, S., & Indraratna, B. (2009). The performance of rail track incorporating the effects of ballast breakage, confining pressure and geosynthetic reinforcement. *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields: Proc of the 8th Intern. Conference (June 29-July 2, University of Illinois at Urbana, Champaign, Illinois, USA)*, 5-24. (in English)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

11. Xiao, J., Zhang, D., Wang, Y., & Luo, Z. (2017). Cumulative deformation characteristic and shakedown limit of railway ballast under cyclic loading. *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields: Proc. of the 10th Intern. Conference (June 28-30, Athens, Greece)*, 1899-1904. (in English)
12. Indraratna, B., Sun, Q., Ngo, N. T., & Rujikiatkamjorn, C. (2017). Current research into ballasted rail tracks: model tests and their practical implications. *Australian Journal of Structural Engineering*, 18(3), 204-220. doi: 10.1080/13287982.2017.1359398. (in English)
13. D'Angelo, G., Presti, D. Lo, & Thom, N. (2017). Optimisation of bitumen emulsion properties for ballast stabilization. *Materiales de Construcción*, 67(327), 124. doi: 10.3989/mc.2017.04416. (in English)
14. TL DBS 918 061: Technische Lieferbedingungen Gleisschotter (2006). Berlin, 2006/08. (in German)
15. Hossain, Z., Indraratna, B., Darve, F., & Thakur, P. K. (2007). DEM analysis of angular ballast breakage under cyclic loading. *Geomechanics and Geoengineering*, 2(3), 175-181. doi: 10.1080/17486020701474962. (in English)
16. Diógenes, D. F., Maia, R., & Castelo, V. (2017). Evaluation of the ballast aggregates shape properties using digital image processing techniques. *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields: Proc. of the 10th Intern. Conference (June 28-30, Athens, Greece)*, 2003-2008. (in English)
17. Douglas, S. C. (2013). Ballast Quality and Breakdown during Transport. *2013 Joint Rail Conference: Conference Paper (Knoxville, Tennessee, USA, April 15-18)*. doi: 10.1115/JRC2013-2553. (in English)
18. Esmaeili, M., Aela, P., & Hosseini, A. (2017). Experimental assessment of cyclic behavior of sand-fouled ballast mixed with tire derived aggregates. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 98, 1-11. doi: 10.1016/j.soildyn.2017.03.033. (in English)
19. Fischer, S. (2012). A vasúti zúzottkő ágyazat alá beépített georácsok vágánygeometriát stabilizáló hatásának vizsgálata: PhD thesis. Győr. (in Hungarian)
20. Fischer, S. (2015). A vasúti zúzottkövek aprózódásvizsgálata egyedi laboratóriumi módszerrel. *Sínek Világa*, 57(3), 12-19. (in Hungarian)
21. Fischer, S. (2017). Breakage Test of Railway Ballast Materials with New Laboratory Method. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 61(4), 794-802. doi: 10.3311/PPci.8549. (in English)
22. Gaitskill, P., & Shahin, M. A. (2013). Use of digital imaging for gradation and breakage of railway ballast. *Australian Geomechanics*, 48, 81-88. (in English)
23. Gálos, M., Kárpáti, L., & Szekeres, D. (2011). Ágyazati köanyagok: A kutatás eredményei. 2 rész. *Sínek Világa*, 55(1), 6-13. (in Hungarian)
24. Guo, Y. L., & Jing, G. Q. (2017). Ballast degradation analysis by Los Angeles Abrasion test and image analysis method. *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields: Proceedings of the 10th International Conference (June 28–30, 2017, Athens, Greece)*, 1811-1815. (in English)
25. Indraratna, B., Salim, W., & Rujikiatkamjorn, C. (2011). *Advanced rail geotechnology – Ballasted track*. London: CRC Press. (in English)
26. Indraratna, B., Sun, Y., & Nimbalkar, S. (2016). Laboratory assessment of the role of particle size distribution on the deformation and degradation of ballast under cyclic loading. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 142(7), 0401601601-0401601612. doi: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001463. (in English)
27. Kausay, T. (2011). Adalékanyagok közetfizikai tulajdonságai. *Út- és hídépítési műszaki előírások és alkalmazási tapasztalataik*. Budapest. Retrived from <http://www.betonopus.hu/szakmernoki/kozut-2-adalekanyag-kozetfizika.pdf>. (in Hungarian)
28. Kausay, T. (2008). Zúzott betonadalékanyagok közetfizikai tulajdonságai a szabályozásban. *Mérnökgeológia Kőzetmechanika*, 259-270. (in Hungarian)
29. Kolos, A., Konon, A., & Chistyakov, P. (2017). Change of ballast strength properties during particle abrasive wear. *Procedia Engineering*, 189, 908-915. (in English)
30. Kondratov, V., Solovyova, V., & Stepanova, I. (2017). The development of a high performance material for a ballast layer of a railway track. *Procedia Engineering*, 189, 823-828. (in English)
31. Kurhan, M. B., & Kurhan, D. M. (2017). Railway track representation in mathematical model of vehicles movement. *Science and Transport Progress*, 6(72), 40-48. doi: 10.15802/stp2017/118380. (in English)
32. Lichtberger, B. (2005). *Track compendium: Formation, Permanent Way, Maintenance, Economics*. Hamburg: Eurailpress Tetzlaff-Hestra GmbH & Co. (in English)
33. McDowell, G., & Stickley, P. (2006). Performance of geogrid-reinforced ballast. *Ground Engineering*, January, 4-6. (in English)
34. Major, Z. (2013). Special problems of interaction between railway track and bridge. *Pollack Periodica*, 8(2), 97-106. doi: 10.1556/Pollack.8.2013.2.11. (in English)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

35. A 102345/1995 PHMSZ előírás 3. számú módosítása (Modification 3 in MÁV 102345/1995 PHMSZ. 'Railway substructure and ballast quality acceptance regulations instruction'), 5 MÁV (2008). (in Hungarian)
36. A 102345/1995 PHMSZ előírás 4. számú módosítása. (Modification 4 in MÁV 102345/1995 PHMSZ. 'Railway substructure and ballast quality acceptance regulations instruction'), 14 MÁV (2010). (in Hungarian)
37. Guixian Liu, Guoqing Jing, Dong Ding, & Xiaoyi Shi. (2017). Micro-analysis of Ballast Angularity Breakage and Evolution by Monotonic Triaxial Tests. *Environmental Vibrations and Transportation Geodynamics*, 133-144. doi: 10.1007/978-981-10-4508-0_12. (in English)
38. Ghataora, G. S., Burrow, M. P. N., Kamalov, R. S., Wehbi, M., & Musgrave, P. (2017). Migration of fine particles from subgrade soil to the overlying ballast. *Railway Engineering – 2017: Conference Paper (Edinburgh, 2017, June 21–22)*. (in English)
39. Kőanyaghalmozok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A kopásállóság vizsgálata (mikro-Deval). (Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of the resistance to wear (micro-Deval), 35 MSZ EN 1097-1:2012 (2012). (in Hungarian)
40. Kőanyaghalmozok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: Az aprózódással szembeni ellenállás meghatározása. (Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Methods for the determination of resistance to fragmentation), 35 MSZ EN 1097-2:2010 (2010). (in Hungarian)
41. Kőanyaghalmozok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 3. rész: A szemalak meghatározása. Lemezességi szám. 12 MSZ EN 933-3 (2012). (in Hungarian)
42. Kőanyaghalmozok termikus tulajdonságainak és időjárás-állóságának vizsgálati módszerei. 2. rész: Magnézium-szulfátos eljárás. 16 MSZ EN 1367-2 (2010). (in Hungarian)
43. Kőanyaghalmozok vasúti ágyazathoz. (Aggregates for railway ballast). 33 MSZ EN 13450:2003 (2003). (in Hungarian)
44. Nagy, R. (2017). Description of rail track geometry deterioration process in Hungarian rail lines No. 1 and No. 140. *Pollack Periodica*, 12(3), 141-156. doi: 10.1556/606.2017.12.3.13. (in English)
45. Nâlsund, R. (2017). Prediction of railway ballast service life. Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields : Proc. of the 10th Intern. Conf. (June 28–30, 2017, Athens, Greece), 2055-2061. doi: 10.1201/9781315100333-291. (in English)
46. Nimbalkar, S., & Indraratna, B. (2016). Field assessment of ballasted railroads using geosynthetics and shock mats. *Procedia Engineering*, 143, 1485-1494. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.175. (in English)
47. Pavia, C. E. L., Pereira, M. L., & Pimentel, L. L. (2017). Study Of Railway Ballast Fouling By Abrasion-Originated Particles. *Railway Engineering: Proc. of the 14th Intern. Conf. (Edinburgh, Scotland, UK, 21st–22nd June 2017)*. (in English)
48. Indraratna, B., Nimbalkar, S., Rujikiatkamjorn, C., Neville, T., & Christie, D. (2013). Performance Assessment of Synthetic Shock Mats and Grids in the Improvement of Ballasted Tracks. *Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 1283-1286. (in English)
49. Fisher, S., Eller, B., Kada, Z., & Németh, A. (2015). *Railway Construction*. Győr: Universitas-Győr Nonprofit Kft. (in Hungarian)
50. Xiao, L. Fu, J., Zhou, S., Zhang, D., Wang, Y., Liu, W., & Jiang, L. (2017). Roadbed improvement of an existing railway line located in cold region by reusing crushed deteriorated ballast. *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields : Proc. of the 10th Intern. Conf. (June 28–30, 2017, Athens, Greece)*, 1845-1850. (in English)
51. Sadeghi, J. M., Zakeri, J. Ali, & Najar, M. E. M. (2016). Developing Track Ballast Characteristic Guideline In Order To Evaluate Its Performanc. *International Journal of Railway*, 9 (2), 27-35. doi: 10.7782/IJR.2016.9.2.027. (in English)
52. Selig, E. T., & Waters, J. M. (1994). *Track Geotechnology and Substructure Management Ernest*. London: Thomas Telford. (in English)
53. Junhua Xiao, De Zhang, Kai Wei, & Zhe Luo (2017). Shakedown behaviors of railway ballast under cyclic loading. *Construction and Building Materials*, 155, 1206-1214. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.225. (in English)
54. Shi, X. (2009). *Prediction of permanent Deformation in Railway Track* (PhD thesis). University of Nottingham, Nottingham. (in English)
55. Fortunato, E., Paixão, A., Fontul, S., Pires, J. (2017). Some results on the properties and behavior of railway ballast. *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields : Proc. of the 10th Intern. Conf. (June 28–30, 2017, Athens, Greece)*, 1877-1884. (in English)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

56. Sun, Y., Chen, C., & Nimbalkar, S. (2017). Identification of ballast grading for rail track. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(5), 945-954. doi: 10.1016/j.jrmge.2017.04.006. (in English)
57. Szalóki, F. (2017). Múlt, jelen, jövő az EU-s támogatások tükrében. *XVIII Közlekedésfejlesztési és Beruházási Konferencia (Bükfürdő, 2017, April 26–28)*. Retrived from <http://ktenet.hu/download.php?edid=1484>. (in Hungarian)
58. Track ballast in Austria: Parts 1, 2, 3, 1-11. Retrived from https://www.plassertheurer.com/fileadmin/user_upload/Mediathek/Publikationen/ri_12888990.pdf. (in English)
59. Weinreich, Z. (2011). Nagysebességű vasutak pályafenntartási kitűzése. *Sínek Világa*, 53(6), 27-31. (in Hungarian)
60. Wichtmann, T., & Triantafyllidis, T. (2013). Effect of uniformity coefficient on G/Gmax and damping ratio of uniform to well graded quartz sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(1), 59-72. (in English)

Ass. Prof. D. M. Kurhan, Dr. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Jan. 10, 2018

Accessed: April 04, 2018

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.78.04:621.775.2

В. И. ЗУРНАДЖИ^{1*}, В. Г. ЕФРЕМЕНКО^{2*}, Е. В. ДУНАЕВ^{3*}, А. ЛЕКАТУ^{4*},
Р. А. КУССА^{5*}

^{1*}Каф. «Материаловедение и перспективные технологии», Приазовский государственный технический университет, ул. Университетская, 7, Мариуполь, Украина, 87555, тел. +38 (0629) 44 65 20, эл. почта vladim.zurnadzy@gmail.com, ORCID 0000-0003-0290-257X

^{2*}Каф. «Физика», Приазовский государственный технический университет, ул. Университетская, 7, Мариуполь, Украина, 87555, тел. +38 (0629) 44 61 31, эл. почта vgefremenko@gmail.com, ORCID 0000-0002-4537-6939

^{3*}ПАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ», ул. Лепорского, 1, Мариуполь, Украина, 87500, тел. +38 (0629) 44 61 31, эл. почта eugeniy.dunaev@gmail.com, ORCID 0000-0002-6565-5564

^{4*}Каф. «Инженерное материаловедение», Университет Янины, Янина, Греция, 45110, эл. почта angelikilekatou@gmail.com, ORCID 0000-0001-7951-4431

^{5*}Каф. «Материаловедение и перспективные технологии», Приазовский государственный технический университет, ул. Университетская, 7, Мариуполь, Украина, 87555, тел. +38 (0629) 44 65 20, эл. почта kussaroman1@gmail.com, ORCID 0000-0001-9003-2003

ПОВЫШЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ ТВЕРДОСТИ СТАЛЬНЫХ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ ПРИМЕНЕНИЕМ Q-P ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Цель. В данной работе необходимо исследовать возможность повышения качественных показателей стальных мелющих шаров диаметром 100 мм за счет применения Q-P термической обработки.

Методика. В качестве материала использовали стальные мелющие шары диаметром 100 мм, полученные поперечно-винтовой прокаткой. Термическая обработка заключалась в закалочном охлаждении шаров в устройстве барабанного типа по различным режимам и последующем отпуске. Режимы закалки обеспечивали достижение среднемаховой температуры шаров в пределах 120–240 °С, что ниже мартенситной точки стали. После закалки шары сразу же подвергали отпуску при 170–300 °С в течение 2–10 ч. Обработанные шары подвергали визуальному осмотру, испытаниям на твердость и ударостойкость. Твердость измеряли методом Роквелла по шкале «С», микротвердость – на микротвердомере «Affri» при нагрузке 50 г. Ударостойкость шаров оценивали на копровой установке ударом падающего груза с энергией удара 6,8 кДж. Микроструктурный анализ выполняли с помощью оптического микроскопа «Axiovert 40-M». Количество остаточного аустенита определяли с помощью дифрактометра IV-Pro Rigaku в медном K α -излучении.

Результаты. Показано, что в шарах диаметром 100 мм из хромомарганцевой стали в результате термической обработки по стандартному режиму возникают поверхностные трещины. Применение термообработки по Q-P-принципу позволяет достичь высокой твердости по всему сечению (в пределах 54–57 HRC) при отсутствии в шарах закалочных трещин. Обработанные по такой технологии шары имеют высокую ударостойкость при повторных ударах с энергией 6,8 кДж. **Научная новизна.** Авторами впервые исследована целесообразность использования Q-P-принципа в технологии термической обработки стальных мелющих шаров большого диаметра из стали повышенной прокаливаемости. Установлено, что Q-P-обработка позволяет существенно (на 10 HRC) повысить объемную твердость в шарах диаметром 100 мм, сохранив их высокую ударостойкость при испытаниях падающим грузом. Получение таких свойств обеспечивается снятием закалочных напряжений и формированием двухфазной мартенсито-аустенитной структуры с повышенным количеством (25–30 %) остаточного аустенита. Последнее становится возможным благодаря процессу перераспределения углерода из мартенсита в аустенит с обогащением последнего до 1,12 % С. **Практическая значимость.** Показана целесообразность применения Q-P-термической обработки при производстве стальных мелющих шаров высокой объемной твердости.

Ключевые слова: Q-P-обработка; мелющие шары; твердость; ударостойкость; микроструктура

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Введение

Мелющие шары активно используются в горно-металлургической, цементной, энергетической и других перерабатывающих отраслях промышленности. Шары выполняют работу по измельчению сырья (руды, клинкера, угля и т. д.) в барабанных мельницах, подвергаясь в процессе эксплуатации интенсивному изнашиванию [4, 5]. Удельный расход крупных шаров (диаметром 100–120 мм) на горно-обогатительных комбинатах Украины достигает нескольких килограммов на тонну концентрата, что отрицательно отражается на экономических показателях процесса переработки [10]. Высокий расход шаров связан с их пониженной объемной твердостью. Как правило, глубина упрочненного (закаленного) слоя в шарах диаметром 100 и 120 мм 3-й группы из рельсовых марок стали не превышает 10 мм [15, 16]; объемная твердость шаров составляет 45–47 HRC. С целью снижения удельного расхода крупных шаров необходимо повысить их объемную твердость, что требует освоения производства шаров из стали с повышенным уровнем легирования.

При производстве стальных катаных шаров их подвергают термоупрочнению с прокатного нагрева по схеме прерванной закалки в воде с самоотпуском [7, 9]. Закалку крупных шаров прекращают при достижении среднемассовой температуры ($T_{с/м}$) в пределах 220–250 °С. При этой температуре шары проходят самоотпуск, медленно остывая в накопительных бункерах [6]; это обеспечивает получение в них поверхностной твердости не ниже 50 HRC. При изготовлении шаров большого диаметра из стали повышенной прокаливаемости термообработка по такой технологии приводит к возникновению в них трещин вследствие неблагоприятного распределения напряжений в объеме изделия. Проблема растрескивания является одной из главных при производстве стальных шаров диаметром 80–120 мм со сквозной закалкой на мартенсит [3, 11].

Технология термической обработки Q-n-P (Quenching and Partitioning) позволяет повысить комплекс механических свойств низколегированных сталей за счет увеличения количества остаточного аустенита ($A_{ост}$) в структуре [12, 13, 17, 18]. Принцип Q-n-P предусматривает приостановку закалочного охлаждения в интервале между точками M_n и M_k и последую-

щий нагрев для перераспределения углерода из мартенсита в аустенит. Такая последовательность операций вписывается в схему термоупрочнения мелющих шаров и может оказать положительное влияние на напряженное состояние шаров, предотвращая появление трещин. Удачный опыт применения Q-n-P-обработки применительно к литым шарам диаметром 80 мм из высокохромистого чугуна описан в работе [14]. В то же время, использование Q-n-P-принципа в практике термообработки стальных мелющих шаров до настоящего времени оставалось неизвестным, что предопределило выполнение данной работы.

Цель

Целью данной работы является обновление повышения объемной твердости катаных мелющих шаров диаметром 100 мм с помощью применения термической обработки по Q-n-P-принципу.

Методика

В качестве материала были использованы катаные шары номинальным диаметром 100 мм, изготовленные из хромомарганцевой стали, содержащей 0,7–0,8 % С. Шары были прокатаны на стане поперечно-винтовой прокатки и после прокатки охлаждены водой (20–22 °С) в устройстве барабанного типа [6] по различным режимам (табл. 1). Режимы отличались длительностью охлаждения, что позволяло изменять $T_{с/м}$ шаров на выходе из закалочного устройства. Режим № 1 соответствовал полному охлаждению шаров в воде, режимы № 2–4 обеспечивали достижение среднемассовой температуры в интервале M_n – M_k , а режим № 5 – на уровне M_n (составляет 227 °С для использованной стали). Под среднемассовой температурой принимали температуру поверхности закаленного шара, определенную после завершения перераспределения тепла в объеме шара (через 1–1,5 мин после его извлечения из воды). $T_{с/м}$ измеряли оптическим пирометром.

После закалки шары в течение не более 10 мин горячими переносили в шахтную электрическую печь, где отпускали при 170–300 °С от 2 до 10 ч (определенную часть закаленных шаров охлаждали после закалки на спокойном воздухе без отпуска). Таким образом, режимы

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

№ 2–4 соответствовали Q-n-P-принципу, а режим № 5 имитировал стандартную технологию термоупрочнения шаров.

Наличие трещин на поверхности шаров определяли визуально. Микроструктуру и распределение твердости по сечению исследовали на темплетах, вырезанных из шаров анодно-механической резкой и прошлифованных для удаления влияния анодного реза. Твердость определяли методом Роквелла по шкале «С», микротвердость – на микротвердомере «Affri» при нагрузке 50 г. Ударостойкость шаров оценивали на копровой установке ударом падающего с высоты 5,5 м груза массой 125 кг (энергия удара 6,8 кДж); нормативное количество ударов – 8. Микроструктурный анализ выполняли с применением оптического микроскопа «Axiovert 40-M». Количество остаточного аустенита определяли рентгеноструктурным методом с помощью дифрактометра IV-Pro Rigaku в медном K_{α} -излучении.

Результаты

При использовании стандартного режима термоупрочнения (с $T_{с/м} = 220–240$ °C) в шарах

диаметром 100 мм из стали повышенной прокаливаемости возникают поверхностные трещины. Причиной является то, что к моменту прерывания закалки мартенситное превращение протекает лишь в поверхностных слоях на глубину до 15 мм; во внутренних слоях шара еще сохраняется аустенитная структура [8]. При последующем самоотпуске этот аустенит превращается либо в бейнит, либо в мартенсит. В последнем случае превращение аустенита происходит на завершающей стадии самоотпуска или после его завершения, когда еще не остывшие шары перегружают из бункеров в вагоны. Возникающий в центре мартенсит деформирует поверхностный слой шара, вызывая в нем высокие растягивающие напряжения. Разрядка этих напряжений не происходит, поскольку к этому моменту в шаре существенно снижается температура. Напряжения вызывают появление поверхностных трещин; они возникают либо сразу после полного остывания шара, либо через некоторое время (инкубационный период трещинообразования может растягиваться на несколько недель).

Таблица 1

Влияние режима термообработки на склонность шаров к растрескиванию

Table 1

Influence of heat treatment mode on the tendency of balls to crack

Номер режима	Среднемассовая температура, °C	Наличие трещин (охлаждение на воздухе)	Температура отпуска ($T_{отп}$), °C	Твердость*/наличие трещин после отпуска
1	20	есть	–	61/есть
2	110–120	есть	170	58/есть
			200	57/нет
			250	55/нет
			300	52,5/нет
3	125–135	нет	200	57,5/нет
			250	55,5/нет
4	150–170	нет	200	57,5/нет
			250	54,5/нет
5	220–240	есть	250	55/есть

*средняя твердость поверхности после отпуска в течение 10 ч.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Таким образом, существует две возможности предотвращения трещин в шарах со сквозной закалкой. Первая – обеспечить протекание самоотпуска шара таким образом, чтобы аустенит центральных слоев максимально полно превратился в нижний бейнит до того, как общая температура шара достигнет точки начала мартенситного превращения (точка M_n). Это требует создания в бункере условий, близких к изотермическим, и очень длительных выдержек, что невозможно обеспечить в условиях производства.

Вторым направлением является снижение количества аустенита в центре шара за счет увеличения длительности закалки. В этом случае формирование мартенсита в центре шара произойдет на стадии закалки, приводя к возникновению растягивающих напряжений на поверхности. Чтобы растрескивание шаров не происходило сразу после закалки, следует регулировать соотношение объемов «аустенит/мартенсит» в центральных слоях, т. е. сохранять определенную долю непревращенного аустенита в момент прерывания охлаждения. Учитывая различия в удельном объеме аустенита и мартенсита, можно снизить уровень растягивающих напряжений на поверхности шара и предотвратить быстрое появление трещин. Для релаксации возникших напряжений и полного подавления трещинообразования шары после закалки должны подвергаться отдельной операции отпуска. Указанная технология, по сути, является Q-P-обработкой, поскольку температура во всех слоях шара должна снизиться ниже мартенситной точки стали; это обеспечит начало мартенситного превращения в центральных слоях шара.

При реализации экспериментальных режимов термообработки было установлено, что шары, полностью охлажденные в воде ($T_{c/m}=20^\circ\text{C}$, режим № 1), растрескивались в течение 2–5 мин после завершения закалки; их не удалось перенести в печь для отпуска до появления трещин (показаны стрелками на рис. 1).

В случае $T_{c/m}=110\text{--}120^\circ\text{C}$, шары в процессе доохлаждения на воздухе без отпуска растрескивались при снижении их температуры менее $65\text{--}70^\circ\text{C}$. Отпуск при 170°C несколько снизил уровень напряжений, но не предотвратил образования трещин: шары, отпущенные в течение 2–4 ч, растрескались через 24 ч, отпущенные

в течение 10 ч – через 48 ч после завершения отпуска. Увеличение температуры отпуска до $200\text{--}300^\circ\text{C}$ полностью предотвратило растрескивание даже при минимальной продолжительности отпуска; трещины не появились на таких шарах даже спустя месяц после завершения отпуска.



Рис. 1. Трещины на поверхности шаров, обработанных по режиму № 1

Fig. 1. Cracks on the surface of balls, treated according to mode No. 1

В случае реализации режимов № 3 и 4 трещины не появлялись в шарах ни при охлаждении на воздухе (без отпуска), ни после отпуска при $200\text{--}250^\circ\text{C}$. Повышение среднemasсовой температуры шаров до $220\text{--}240^\circ\text{C}$ (режим № 5) резко изменило картину и привело к растрескиванию как при доохлаждении на воздухе, так и после отпуска при 250°C .

Твердость на поверхности отпущенных шаров составила $57\text{--}57,5$ HRC (200°C), $54,5\text{--}55,5$ HRC (250°C), $52,5$ HRC (300°C).

Все шары режимов № 2–4, отпущенные при $200\text{--}300^\circ\text{C}$, выдержали испытания на ударостойкость при 8 ударах; некоторые шары были успешно испытаны при количестве ударов в 2–3 раза выше нормы. Расколов и появления трещин на поверхности шаров зафиксировано не было. Шар режима № 2 (отпуск при 170°C , 10 ч) с поверхностной трещиной разрушился на седьмом ударе. Шары, обработанные по режимам № 1 и 5 и имевшие поверхностные трещины, разрушались на втором–четвертом ударе.

При исследовании распределения твердости по сечению шаров было установлено, что, независимо от режима термообработки, все шары имеют сквозную закалку: максимальный пере-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

пад между приповерхностным слоем и центром составил 1,5 HRC (отпуск при 200–250 °C) и 4 HRC (отпуск при 300 °C) (табл. 2). Общий уровень твердости и, соответственно, объемная

твердость снижаются по мере роста температуры отпуска с 56,9 HRC (170 °C) до 49,6 HRC (300 °C).

Таблица 2

Распределение твердости по сечению и объемная твердость (HRC) термообработанных шаров (длительность отпуска – 10 ч)

Table 2

Distribution of hardness by cross-section and volume hardness (HRC) of heat-treated balls (tempering duration is 10 h)

$T_{с/м}, ^\circ\text{C}$	$T_{отп.}, ^\circ\text{C}$	Расстояние от поверхности, мм									$H_{об}$
		5	10	15	20	25	30	35	40	50	
110–120	без отп.	62	62	61	61,5	60	60	59,5	59,5	60	61,0
	170	57,5	56,5	57	56,5	56	57	57	56,5	56	56,9
	200	57	56,5	56,5	56	56	55,5	55	57	55,5	56,4
	250	55,5	55,5	55	54,5	53,5	54	54,5	54,5	54	54,9
	300	52	50	49	48	48	47	48	47	47	49,6
125–135	без отп.	61,5	62	61,5	62	61	61	62	61	61	61,6
	200	57	56	57	57	56	56,5	56,5	57	56,5	56,7
	250	54	54	53,5	54	53,5	54	54	53,5	53	54,0
150–175	без отп.	59,5	59,5	61	60	59	59,5	60	59	60	59,8
	200	56	56	56,5	57	56	55,5	56,5	56	56	56,2
	250	54,5	54,5	55	55	54,5	55	54	55	54,5	54,7
220–240	250	54	55	54,5	54	53,5	54	53,5	53	52,5	54,2

При изучении микроструктуры термообработанных по режимам № 2–4 шаров было установлено, что в большей части объема (на глубине свыше 10 мм от поверхности) она имеет гетерогенное строение, состоящее из чередующихся темных и светлых зон (рис. 2, а). Темные зоны имеют структуру отпущенного мартенсита, который, благодаря сильной травимости, имеет однородное строение с плохо различной игольчатостью. В светлых участках наблюдается игольчатая структура, хорошо различимая на белом фоне аустенита (рис. 2, б, показано стрелкой).

Помимо темных/светлых зон в структуре наблюдаются отдельные черные участки троостита (показаны на рис. 2, б двойной стрелкой). Поверхностные слои шаров (на глубину до 10 мм) имеют однородное строение отпущенного игольчатого мартенсита; остаточный

аустенит выявляется лишь в виде отдельных разрозненных островков (показаны на рис. 2, в стрелками).

Присутствие различного количества остаточного аустенита в разных слоях шара, выявленное визуально при микроструктурном исследовании [1], было подтверждено с помощью рентгеноструктурного метода. Анализ дифрактограмм образцов шара, обработанного по режиму № 3 ($T_{отп.} = 200\text{ }^\circ\text{C}$), показал, что объемная доля $A_{ост}$ составляет: на глубине 5 мм – 7,8 %, на глубине 0,5 радиуса – 24,9 %, в центре – 30,3 %.

Представленные результаты показали, что режимы № 2–4 (за исключением отпуска при 170 °C) обеспечили достижение одинаково высокой твердости по всему сечению шаров при отсутствии закалочных трещин. Объемная твердость при этом возросла до 54–56,7 HRC ($T_{отп.} = 200\text{--}250\text{ }^\circ\text{C}$), т. е. почти на 10 HRC по

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

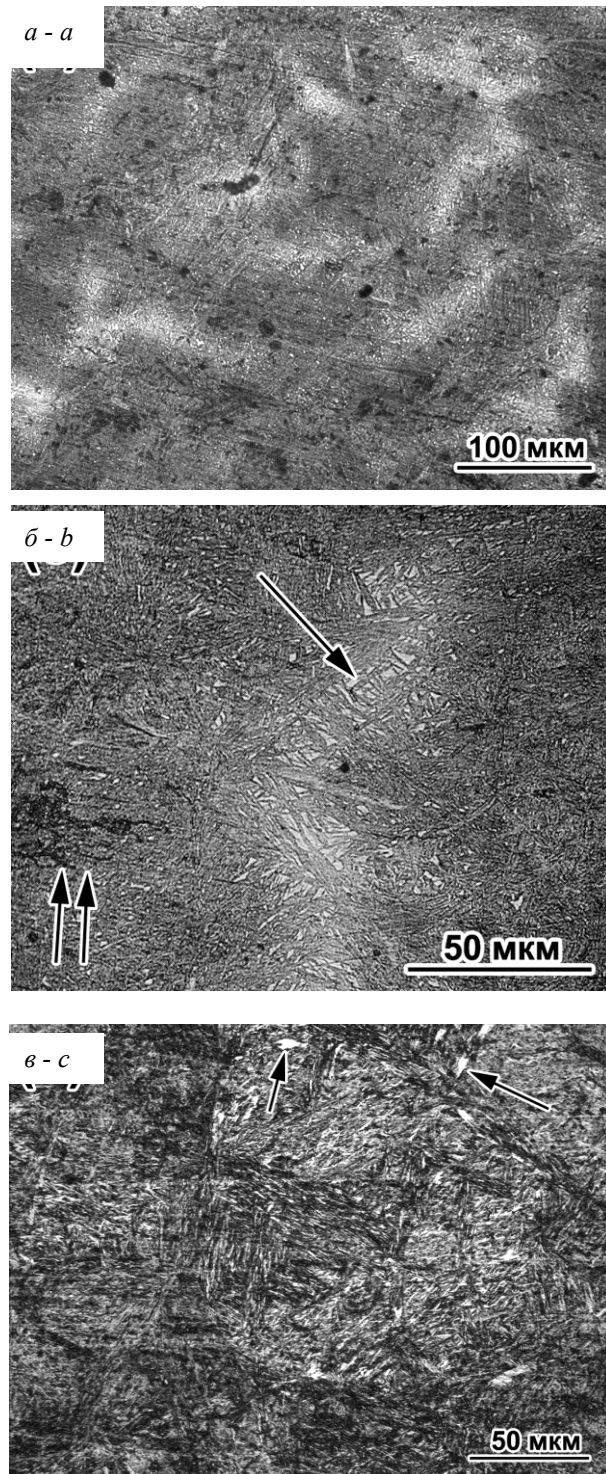


Рис. 2. Микроструктура шара, обробаного по режиму № 3 (отпуск при 200 °С): а, б – центр, в – на глубине 5 мм от поверхности

Fig. 2. Microstructure of the ball, treated according to mode No. 3 (tempering at 200 °C): а, б – center, в – at a depth of 5 mm from the surface

сравнению со стандартными шарами. Шары имели высокую ударостойкость, что важно с учетом эксплуатации шаров в большегрузных мельницах. Полученные результаты можно объяснить достижением оптимального распределения микроструктуры по сечению шаров в момент прерывания закалки с наличием преимущественно мартенситной структуры в поверхностных слоях и аустенито-мартенситной структуры в центральных объемах. В итоге возникло сбалансированное напряженное состояние, характеризующееся либо отсутствием растягивающих напряжений на поверхности, либо их низким уровнем, не приводящим к возникновению трещин. Поэтому при $T_{c/m}=120-170$ °С шары не растрескивались не только после отпуска, но и при охлаждении на воздухе, т. е. без отпуска.

Можно предположить, что на стадии отпуска определенная часть аустенита в центральных слоях шаров превратилась в бейнит. Кроме того, при отпуске происходило перераспределение углерода из мартенсита в аустенит (т. наз. «стадия partitioning»), в результате чего содержание углерода в остаточном аустените в центре шара максимально повысилось до 1,12 % (содержание углерода рассчитано дифрактограммами по известной методике [18]). Обогащение углеродом стабилизировало аустенит к бейнитному превращению, в результате чего по завершении отпуска он частично превратился в мартенсит, сохранившись в структуре в значительном количестве (25–30 %). Это сформировало «светлые» участки структуры, показанные на рис. 1. Поскольку аустенит имеет существенно меньший удельный объем по сравнению с мартенситом, то рост доли $A_{ост}$ в центральных слоях дополнительно снизил уровень растягивающих напряжений на поверхности, предотвратив появление трещин [2]. В поверхностных слоях $A_{ост}$ гораздо меньше, т. к. в них в процессе закалки температура снизилась до минимальных (для шара) значений, поэтому здесь большая часть аустенита превратилась в мартенсит.

Таким образом, использование принципа Q-n-P в технологии термоупрочнения мелющих шаров позволяет решить задачу повышения объемной твердости крупных шаров при сохранении их высокой ударостойкости и отсутствии закалочных трещин.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Научная новизна и практическая значимость

Впервые исследована возможность применения термической обработки, основанной на Q-n-P-принципе, в производстве стальных мелющих шаров повышенной объемной твердости. Показано, что в случае регулируемого закалочного охлаждения с достижением средне-массовой температуры в пределах 120–170 °С и последующего отпуска при 200–250 °С в шарах диаметром 100 мм достигается сквозная твердость в пределах 54–57 HRC при высокой ударостойкости и отсутствии закалочных трещин. Установлено, что такая обработка формирует микроструктуру, уравнивающую закалочные напряжения в объеме шара и обладающую повышенной ударостойкостью благодаря наличию 25–30 % остаточного аустенита. Увеличение количества остаточного аустенита происходит благодаря его обогащению углеродом в процессе перераспределения углерода между мартенситом и аустенитом при отпуске.

Выводы

1. Термическое упрочнение катаных мелющих шаров диаметром 100 мм из стали повышенной прокаливаемости по стандартной тех-

нологии ($T_{с/м}=220\text{--}240\text{ }^{\circ}\text{C}$) приводит к появлению поверхностных трещин сразу после завершения самоотпуска.

2. Использование принципа Q-n-P с удлинением заковки, обеспечивающим среднемассовую температуру шаров в пределах 120–170 °С, с последующим отпуском при 200–250 °С и выдержкой не менее 1 ч, позволяет достичь твердости в пределах 54–57 HRC по всему сечению при отсутствии закалочных трещин. Обработанные по такой технологии шары имеют высокую ударостойкость при повторных ударах с энергией 6,8 кДж.

3. В результате Q-n-P-обработки в шаре формируется гетерогенная микроструктура, состоящая из участков отпущенного мартенсита и аустенито-мартенситных участков пониженной травимости. Перераспределение углерода между мартенситом и аустенитом при отпуске привело к увеличению доли остаточного аустенита до 25–30 % при концентрации углерода в $A_{ост}$ 1,12 %.

Благодарность

Работа выполнена в рамках проекта (№ 0117U002270), финансируемого Министерством образования и науки Украины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вакуленко, И. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Днепропетровск : Маковецкий, 2008. – 196 с.
2. Вакуленко, И. А. Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании / И. А. Вакуленко. – Днепропетровск : Gaudeamus, 2003. – 94 с.
3. Гуляева, Т. П. Качество мелющих шаров из легированных марок стали / Т. П. Гуляева, Т. П. Седоволо- сая, А. П. Данилов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1995. – № 6. – С. 75.
4. Диагностика процессов износа материалов в шаровых барабанных мельницах / Е. М. Прохоренко, В. Ф. Клепиков, В. В. Литвиненко, П. А. Хаймович, Н. А. Шульгин, А. И. Морозов // Вост.-Европ. жур- нал передовых технологий. – 2015. – № 1/5(73). – С. 14–20.
5. Заец, В. Н. Оценка условий работы помольных шаров из стали эвтектоидного состава при использова- нии в шаровых мельницах / В. Н. Заец // Вісн. Харк. нац. техн. ун-ту сільського госп-ва ім. Петра Васи- ленка. – Харків, 2015. – Вип. 158. – С. 288–293.
6. Зеликович, А. Я. Улучшение качества термически обработанных мелющих шаров / А. Я. Зеликович, А. М. Токмаков // Сталь. – 1994. – № 2. – С. 64–65.
7. Зенкин, И. В. Исследование деформированного состояния при объемной штамповке мелющих тел / И. В. Зенкин, Е. А. Наумова, В. В. Драгобецкий // Вісн. Кременчуц. нац. ун-ту ім. М. Остроградського. – 2016. – Вип. 1 (96). – С. 97–102.
8. Кинетика превращения аустенита в рельсовых сталях М74 и 75ХГСМ при непрерывном охлаждении / Ф. К. Ткаченко, С. О. Кузьмин, В. Г. Ефременко, В. Г. Казанков // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 29. – С. 198–201.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

9. Снижения расхода стальных мелющих шаров путем улучшения технологии их производства / А. Б. Найзабеков, Б. С. Мухаметкалиев, А. С. Арбуз, С. Н. Лежнев // Вести высш. учеб. завед. Черноемья. – 2016. – № 4 (46). – С. 78–86.
10. Эффективность использования мелющих шаров повышенного качества в условиях ОАО «Центральный ГОК» / В. Г. Ефременко, А. Б. Ртищев, Ю. А. Зинченко, Ф. К. Ткаченко, И. В. Ганошенко, О. И. Труфанова, С. О. Кузьмин // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2009. – № 1. – С. 90–93.
11. Camurri, C. Improving the working life of steel grinding balls by optimizing their hardness and tenacity / C. Camurri, C. Carrasco, R. Colàs // Materials Science Forum. – 2014. – Vol. 783–786. – P. 2260–2265. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.783-786.2239.
12. Characterization and modeling of mechanical behavior of quenching and partitioning steels / A. Arlazarov, O. Bouaziz, J. P. Masse, F. Kegel // Materials Science and Engineering: A. – 2015. – Vol. 620. – P. 293–300. doi: 10.1016/j.msea.2014.10.034.
13. Enhanced stability of retained austenite and consequent work hardening rate through pre-quenching prior to quenching and partitioning in a Q-P microalloyed steel / Jun Zhang, Hua Ding, R. D. K. Misra, C. Wang // Materials Science and Engineering: A. – 2014. – Vol. 611. – P. 252–256. doi: 10.1016/j.msea.2014.05.074.
14. High Wear Resistance of White Cast Iron Treated by Novel Process: Principle and Mechanism / X. Jia, X. Zuo, Y. Liu, N. Chen, Y. Rong // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2015. – Vol. 46. – Iss. 12. – P. 5514–5525. doi: 10.1007/s11661-015-3137-4.
15. Improving the hardness of OAO Azovstal Metallurgical Combine steel balls for crushing mills / V. G. Efremenko, I. V. Ganoshenko, F. K. Tkachenko, V. A. Zhurba, O. I. Trufanova // Steel in Translation. – 2008. – Vol. 38. – Iss. 2. – P. 176–178. doi: 10.3103/S0967091208020186.
16. Introduction of Three-Stage Thermal Hardening Technology for Large Diameter Grinding Balls / V. G. Efremenko, E. S. Popov, S. O. Kuz'min, O. I. Trufanova, A. V. Efremenko // Metallurgist. – 2014. – Vol. 57. – Iss. 9–10. – P. 849–854. doi: 10.1007/s11015-014-9812-7.
17. Liu, S. G. Application of quenching–partitioning–tempering process and modification to a newly designed ultrahigh steel / S. G. Liu, S. S. Dong, F. Yang // Materials & Design (1980–2015). – 2014. – Vol. 56. – P. 37–43. doi: 10.1016/j.matdes.2013.10.094.
18. Sun, J. Microstructure development and mechanical properties of quenching and partitioning (Q&P) steel and an incorporation of hot-dipping galvanization during Q&P process / Sun Jing, Yu Hao // Materials Science and Engineering: A. – 2013. – Vol. 586. – P. 100–107. doi: 10.1016/j.msea.2013.08.021.

В. І. ЗУРНАДЖИ^{1*}, В. Г. ЄФРЕМЕНКО^{2*}, Є. В. ДУНАЄВ^{3*}, А. ЛЕКАТУ^{4*}, Р. О. КУССА^{1*}

^{1*}Каф. «Матеріалознавство та перспективні технології», Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87555, тел. +38 (0629) 44 65 20, ел. пошта vadim.zurnadzhy@gmail.com, ORCID 0000-0003-0290-257X

^{2*}Каф. «Фізика», Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87555, тел. +38 (0629) 44 61 31, ел. пошта vgefremenko@gmail.com, ORCID 0000-0002-4537-6939

^{3*}ПАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ», вул. Лепорського, 2, Маріуполь, Україна, 87500, тел. +38 (0629) 44 61 31, ел. пошта eugeniy.dunaev@gmail.com, ORCID 0000-0002-6565-5564

^{4*}Каф. «Інженерне матеріалознавство», Університет Яніни, Яніна, Греція, 45110, ел. пошта angelikilekatou@gmail.com, ORCID 0000-0001-7951-4431

^{5*}Каф. «Матеріалознавство та перспективні технології», Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87555, тел. +38 (0629) 44 65 20, ел. пошта kussaroman1@gmail.com, ORCID 0000-0001-9003-2003

ПІДВИЩЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ ТВЕРДОСТІ СТАЛЕВИХ МОЛОЛЬНИХ КУЛЬ ВИКОРИСТАННЯМ Q-n-P ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Мета. В даній роботі досліджена можливість підвищення якісних показників сталевих молоткових куль діаметром 100 мм за рахунок застосування Q-n-P термічної обробки. **Методика.** Як матеріал використовували сталеві молоткові кулі діаметром 100 мм, отримані поперечно-гвинтовою прокаткою. Термічна обробка полягала в гартувальному охолодженні куль в пристрої барабанного типу за різними режимами й подальшому відпуску. Режими загартування забезпечували досягнення середньомасової температури куль в межах 120–240 °С, що нижче мартенситної точки сталі. Після гартування кулі відразу ж відпускали при 170–300 °С протягом 2–10 год. Оброблені кулі піддавали візуальному огляду, випробуванням на твердість та ударостій-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

кість. Твердість вимірювали методом Роквелла за шкалою «С», мікротвердість – на мікротвердомірі «Affri» при навантаженні 50 м. Ударостійкість куль оцінювали на копрівій установці ударом падаючого вантажу з енергією удару 6,8 кДж. Мікроструктурний аналіз виконували за допомогою оптичного мікроскопа «Axiovert 40-M». Кількість залишкового аустеніту визначали за допомогою дифрактометра IV-Pro Rigaku в мідному K_{α} -випромінюванні. **Результати.** Показано, що в кулях діаметром 100 мм із хромомарганцевої сталі в результаті термічної обробки за стандартним режимом виникають поверхневі тріщини. Застосування термообробки згідно Q-n-P-принципу дозволяє досягти високої твердості по всьому перетину (в межах 54–57 HRC) при відсутності в кулях гартівних тріщин. Оброблені за такою технологією кулі мають високу ударостійкість при повторних ударах із енергією 6,8 кДж. **Наукова новизна.** Авторами вперше досліджена доцільність використання Q-n-P-принципу в технології термічної обробки сталевих молоткових куль великого діаметра зі сталі підвищеної прогартуваності. Встановлено, що Q-n-P-обробка дозволяє істотно (на 10 HRC) підвищити об'ємну твердість у кулях діаметром 100 мм, зберігши їх високу ударостійкість при випробуваннях падаючим вантажем. Отримання таких властивостей забезпечується зняттям гартівних напруг і формуванням двофазної мартенсито-аустенітної структури з підвищеною кількістю (25–30 %) залишкового аустеніту. Останнє стає можливим завдяки процесу перерозподілу вуглецю з мартенситу в аустеніт із збагаченням останнього до 1,12 % С. **Практична значимість.** Показана доцільність застосування Q-n-P-термічної обробки при виробництві сталевих молоткових куль високої об'ємної твердості.

Ключові слова: Q-n-P-обробка; молоткові кулі; твердість; ударостійкість; мікроструктура

V. I. ZURNADZHY^{1*}, V. G. EFREMENKO^{2*}, E. V. DUNAEV^{3*}, A. LEKATOU^{4*},
R. A. KUSSA^{5*}

^{1*}Dep. «Materials Science and Advanced Technologies», Pryazovskyi State Technical University, Universytetska St., 7, Mariupol, Ukraine, 87555, tel. +38 (0629) 44 61 31, e-mail vadim.zurnadzhy@gmail.com, ORCID 0000-0003-0290-257X

^{2*}Dep. «Physics», Pryazovskyi State Technical University, Universytetska St., 7, Mariupol, Ukraine, 87555, tel. +38 (0629) 44 61 31, e-mail vgefremenko@gmail.com, ORCID 0000-0002-4537-6939

^{3*}PJSC «Azovstal Iron & Steel Works», Leporskyi St., 1, Mariupol, Ukraine, 87500, tel.+38 (0629) 44 65 20, ORCID 0000-0002-6565-5564

^{4*}Dep. «Materials Science & Engineering», University of Ioannina, Ioannina, Greece, 45110, e-mail angelikilekatou@gmail.com, ORCID 0000-0001-7951-4431

^{5*}Dep. «Materials Science and Advanced Technologies», Pryazovskyi State Technical University, Universytetska St., 7, Mariupol, Ukraine, 87555, tel. +38 (0629) 44 61 31, e-mail kussaroman1@gmail.com, ORCID 0000-0003-0290-257X

INCREASING VOLUME HARDNESS OF STEEL GRINDING BALLS USING Q-n-P HEAT TREATMENT

Purpose. This study investigates the possibility of improving the quality of grinding steel balls with a diameter of 100 mm by using Q-n-P heat treatment. **Methodology.** Steel grinding balls with a diameter of 100 mm, obtained by transverse screw rolling, were used as a material. The heat treatment consisted of balls quenching in a drum-type device according to various modes and subsequent tempering. The quenching modes provided the bulk temperature of the balls in the range of 120–240 °C, which is lower than the martensitic point M_s of the steel. After quenching, the balls were immediately tempered at 170–300 °C for 2–10 hours. The treated balls were visually examined, tested for hardness and impact resistance. The hardness was measured according to the Rockwell method by scale "C", the microhardness was measured with microhardness tester "Affri" at a load of 50 g. The impact resistance of the balls was evaluated by impact of a dropped load with impact energy of 6.8 kJ. Microstructural analysis was conducted using an optical microscope "Axiovert 40-M". The amount of residual austenite was determined using an "IV-Pro Rigaku" diffractometer in copper K_{α} -radiation. **Findings.** It is shown that, as a result of treatment of 100 mm diameter balls of chromium-manganese steel according the standard mode, the cracks occur on balls surface. Using Q-n-P heat treatment allows achieving higher hardness through the cross section (within 54–57 HRC) while quenching cracks are absent on the balls. The Q-n-P-treated balls have high impact resistance under repeated impacts with energy of 6.8 kJ. **Originality.** For the first time the authors investigated the feasibility of using the Q-n-P heat treatment for steel grinding balls of large diameter made of steel with increased hardenability. It has been determined that Q-n-P-processing allows to significantly increase (by 10 HRC) the bulk hardness of 100 mm diameter balls, while retaining their high impact resistance in tests with a dropped load. The obtaining of such properties is provided by the relaxation of quenching stresses and the formation of a two-phase martensitic-austenite structure with

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

an increased amount (25-30 %) of retained austenite. The latter becomes possible due to the process of partitioning carbon from martensite to austenite with enrichment of the latter to 1.12 % C. **Practical value.** The advisability of Q-n-P-heat treatment in the production of steel grinding balls with higher bulk hardness is shown.

Keywords: Q-n-P-treatment; grinding balls; hardness; impact resistance; microstructure

REFERENCES

1. Vakulenko, I. A., & Bolshakov, V. I. (2008). *Morfologiya struktury i deformatsionnoe uprochnenie stali*. Dnepropetrovsk: Makovetskiy Y. V. Publisher. (in Russian)
2. Vakulenko, I. A. (2003). *Struktura i svoystva uglerodisty stali pri znakoperemennom deformirovanii*. Dnepropetrovsk: Gaudeamus. (in Russian)
3. Gulyaeva, T. P., Sedovolosaya, T. P., & Danilov, A. P. (1995) Kachestvo melyushchikh sharov iz legirovannykh marok stali. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya*, 6, 75. (in Russian)
4. Prokhorenko, Y. M., Klepikov, V. F., Litvinenko, V. V., Khaymovich, P. A., Shulgin, N. A., & Morozov, A. I. (2015). Diagnostika protsessov iznosa materialov v sharovykh barabannykh melnitsakh. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1, 5(73), 14-20. (in Russian)
5. Zaets, V. N. (2015). Otsenka usloviy raboty pomolnykh sharov iz stali evtektoidnogo sostava pri ispolzovanii v sharovykh melnitsakh. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. Petra Vasylenka*, 158, 288-293. (in Russian)
6. Zenkin, I. V., Naumova, E. A., & Dragobetskiy, V. V. (2016). The investigation of the deformed state during the volume stamping of grinding bodies. *Scientific journal «Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University»*, 1(96), 97-102. (in Russian)
7. Zelikovich, A. Y., & Tokmakov, A. M. (1994). Uluchshenie kachestva termicheski obrabotannykh melyushchikh sharov. *Stal*, 2, 64-65. (in Russian)
8. Tkachenko, F. K., Kuzmin, S. O., Efremenko, V. G., & Kazankov, V. H. (2009). Kinetika prevrashcheniya austenita v relsovykh stalyakh M74 i 75KhGSM pri nepreryvnom okhlazhdenii. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazariana*, 29, 198-201. (in Russian)
9. Nayzabekov, A. B., Mukhametkaliev, B. S., Arbut, A. S., & Lezhnev, S. N. (2016). Snizheniya raskhoda stalnykh melyushchikh sharov putem uluchsheniya tekhnologii ikh proizvodstva. *Vesti vysshikh uchebnykh zavedeniy Chernozemya*, 4(46), 78–86. (in Russian)
10. Efremenko, V. G., Rtishchev, A. B., Zinchenko, Y. A., Tkachenko, F. K., Ganoshenko, I. V., Trufanova, O. I., & Kuzmin, S. O. (2009). Effektivnost ispolzovaniya melyushchikh sharov povyshennogo kachestva v usloviyakh OAO «Tsentrallyy GOK». *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 90-93. (in Russian)
11. Camurri, C., Carrasco, C., & Colàs, R. (2014). Improving the working life of steel grinding balls by optimizing their hardness and tenacity. *Materials Science Forum*, 783, 2260-2265. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.783-786.2260. (in English)
12. Arlazarov, A., Bouaziz, O., Masse, J. P., & Kegel, F. (2015). Characterization and modeling of mechanical behavior of quenching and partitioning steels. *Materials Science and Engineering*, 620, 293-300. doi: 10.1016/j.msea.2014.10.034. (in English)
13. Zhang, J., Ding, H., Misra, R. D. K., & Wang, C. (2014). Enhanced stability of retained austenite and consequent work hardening rate through pre-quenching prior to quenching and partitioning in a Q–P microalloyed steel. *Materials Science and Engineering*, 611, 252-256. doi: 10.1016/j.msea.2014.05.074. (in English)
14. Jia, X., Zuo, X., Liu, Y., Chen, N., & Rong, Y. (2015). High Wear Resistance of White Cast Iron Treated by Novel Process: Principle and Mechanism. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 46(12), 5514-5525. doi: 10.1007/s11661-015-3137-4. (in English)
15. Efremenko, V. G., Ganoshenko, I. V., Tkachenko, F. K., Zhurba, V. A., & Trufanova, O. I. (2008). Improving the hardness of Azovstal Metallurgical Combine steel balls for crushing mills. *Steel in Translation*, 38(2), 176-178. doi:10.3103/S0967091208020186. (in English)
16. Efremenko, V. G., Popov, E. S., Kuz'min, S. O., Trufanova, O. I., & Efremenko, A. V. (2014). Introduction of Three-Stage Thermal Hardening Technology for Large Diameter Grinding Balls. *Metallurgist*, 57(9-10), 849-854. doi:10.1007/s11015-014-9812-7. (in English)
17. Liu, S. G., Dong, S. S., Yang, F., Li, L., Hu, B., Xiao, F. H., ... Liu, H. S. (2014). Application of quenching–partitioning–tempering process and modification to a newly designed ultrahigh carbon steel. *Materials & Design*, 56, 37-43. doi: 10.1016/j.matdes.2013.10.094. (in English)

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

18. Sun, J., & Yu, H. (2013). Microstructure development and mechanical properties of quenching and partitioning (Q and P) steel and an incorporation of hot-dipping galvanization during Q and P process. *Materials Science and Engineering*, 586, 100-107. doi: 10.1016/j.msea.2013.08.021. (in English)

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Украина)

Надійшла до редколегії: 06.12.2017

Прийнята до друку: 16.03.2018

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

UDC [004.7-047.72]:656.2

I. V. ZHUKOVYTS'KYY, V. M. PAKHOMOVA^{2*}

^{1*}Dep. «Electronic Computing Machines», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 89, e-mail ivzhuk@ua.fm, ORCID 0000-0002-3491-5976

^{2*}Dep. «Electronic Computing Machines», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 89, e-mail viknikpakh@gmail.com, ORCID 0000-0002-0022-099X

IDENTIFYING THREATS IN COMPUTER NETWORK BASED ON MULTILAYER NEURAL NETWORK

Purpose. Currently, there appear more often the reports of penetration into computer networks and attacks on the Web-server. Attacks are divided into the following categories: DoS, U2R, R2L, Probe. The purpose of the article is to identify threats in a computer network based on network traffic parameters using neural network technology, which will protect the server. **Methodology.** The detection of such threats as Back, Buffer_overflow, Quess_password, Ipsweep, Neptune in the computer network is implemented on the basis of analysis and processing of data on the parameters of network connections that use the TCP/IP protocol stack using the 19-1-25-5 neural network configuration in the Fann Explorer program. When simulating the operation of the neural network, a training (430 examples), a testing (200 examples) and a control sample (25 examples) were used, based on an open KDDCUP-99 database of 500000 connection records. **Findings.** The neural network created on the control sample determined an error of 0.322. It is determined that the configuration network 19-1-25-5 copes well with such attacks as Back, Buffer_overflow and Ipsweep. To detect the attacks of Quess_password and Neptune, the task of 19 network traffic parameters is not enough. **Originality.** We obtained dependencies of the neural network training time (number of epochs) on the number of neurons in the hidden layer (from 10 to 55) and the number of hidden layers (from 1 to 4). When the number of neurons in the hidden layer increases, the neural network by Batch algorithm is trained almost three times faster than the neural network by Resilient algorithm. When the number of hidden layers increases, the neural network by Resilient algorithm is trained almost twice as fast as that by Incremental algorithm. **Practical value.** Based on the network traffic parameters, the use of 19-1-25-5 configuration neural network will allow to detect in real time the computer network threats Back, Buffer_overflow, Quess_password, Ipsweep, Neptune and to perform appropriate monitoring.

Keywords: network traffic; threat; neural network; sampling; hidden layer; hidden neurons; training algorithm; number of epoch; error

Introduction

There have recently been increasingly frequent computer penetration reports and attacks on Web-server. Very often, intruders bypass established protective devices. Attacks are carried out in a very short time and the variety of threats is constantly increasing, which prevents from detecting and preventing them with standard protective

equipment [2–3]. Existing approaches are characterized by a number of features that hinder their use: low speed of work; poor accuracy [1, 13, 15]. To eliminate these shortcomings, a neural network technology is proposed [1–4, 6–12]: multilayer perceptron; Kohonen network; neuronetty network (hybrid system).

Attacks are divided into the following categories [2, 14–15]: DoS (Back, Land, Neptune, Pod,

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Smurf, Teardrop), U2R (Buffer_overflow, Loadmodule, Perl, Rootkit), R2L (Ftp_write, Quess_passwd, Imap, Multihop, Phf, Spy, Warez-client, Warezmaster), Probe (Ipsweep, Hmap, Portsweep, Satan). DoS attack is characterized by the generation of a large amount of traffic, which leads to overload and lockup of the server; U2R attack (User to Root) involves receiving by a registered user of administrator's privileges; R2L attacks (Remote to Local) are characterized by access of an unregistered user to a computer from a remote machine; Probe attacks include scanning of ports in order to obtain confidential information.

At the present stage, various solutions are offered for the modernization of existing computer networks, in particular, in the information and telecommunication system of the Prydniprovsk railway [5, 16].

Purpose

To develop a method for detecting threats in a computer network based on network traffic parameters using a multi-layer neural network in the Fann Explorer program.

Methodology

To detect threats we used 19 network traffic parameters (x_i) [14]: package type (TCP, UDP, ICMP and others); service type (http, telnet, ftp_data, eco_i, private); flag; number of bytes from source to recipient; number of bytes from recipient to source; number of hot indicators; successful entrance; number of compromised conditions; number of connections to the host for 2 s; number of connections to one service for 2 s; percentage of connections to the service for 2 s; percentage of connection to different hosts; number of connections to the local host installed by the remote side for 2 s; number of connections to the local host installed by the remote side, uses 1 service; percentage of connections to this service; percentage of connections to other services; percentage of connections to the host with the port number of the source; percentage of connections with a rej-type error for the recipient host; percentage of connections with a rej-type error for the service. On the basis of the values of the set of the

attack features, it is necessary to carry out the classification conclusion (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5) of the following threats: Back, Buffer_overflow, Quess_password, Ipsweep, Neptune. Detection of threats in a computer network is based on the analysis and processing of data on the parameters of network connections using the TCP/IP protocol stack. As initial data we used KDDCUP-99 database of 5,000,000 connection records (the sequence of TCP packets for the final period, the start and end points of which are clearly defined, during which the data is transmitted from the sender's IP address to the recipient's IP address using the defined protocol). As a mathematical tool of problem solution we took the neural network (NN) of the configuration 19-1-25-5, where 19 is the number of neurons in the input layer, 1 is the number of hidden layers, 25 is the number of neurons in the hidden layer, and 5 is the number of neurons in the resulting layer.

Findings

Purpose and features of the Fann Explorer program. Fann Explorer is portable graphical environment for developing, training and testing neural networks that supports animation training, creation, provides an easy to use browser-based interface for fast artificial neural network (Fann library). FannKernel provides a neural network with the kernel, which is a multi-threaded kernel, so several neural networks can be studied and explored at the same time. This program has a fairly wide-ranging functionality for training and researching neural networks. The View menu allows you to open three main windows: Controller (main panel, which defines all the parameters for teaching the neural network), Error plot (dependence graph of the mean square error on the number of passed training epochs), Weight Graph. On the Topology tab, you can get acquainted with the main characteristics of the topology (Fig. 1).

The Testing menu allows you to check how well the neural network is being trained and the ability to edit incoming data. The test results are presented as a comparison graph of the mean square error with the reference value shown in Fig. 2.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

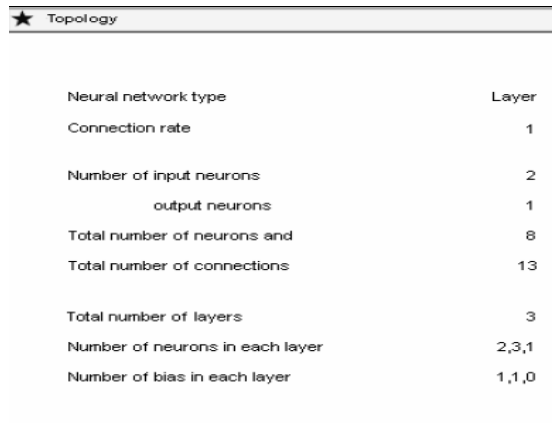


Fig. 1. Description of network topology

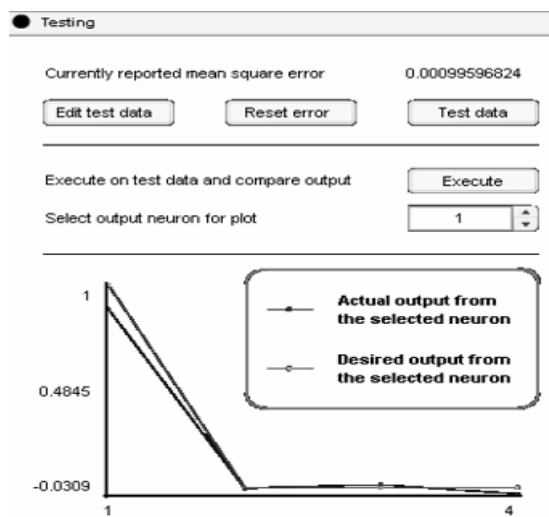


Fig. 2. Testing menu

Preparation of samples (preparatory stage).

The following samples were prepared: training (430 examples), test (200 examples), control (25 examples). Since NN does not accept textual information, samples need to be processed by marking the text parameters with numerical values. The changes apply to the first three columns of the sample and the attack tags, namely: package type (tcp – 1; icmp – 2); type of service (http – 1; telnet – 2; ftp_data – 3; ftp – 4; eco_i – 5; private – 6; smtp – 7; nhsp – 8; http_443 – 9); flag (SF – 1; RSTR – 2; RSTO – 3; S0 – 4; S3 – 5); Attack tag (Back – 0 0 0 0 1; Buffer_overflow – 0 0 0 1 0; Quess_pwd – 0 0 1 0 0; Ipsweep – 0 1 0 0 0; Neptune – 1 0 0 0 0). Sampling is given in any text editor (all values are separated by spaces); file has extension .train. A fragment of the processed training sample is shown in Fig. 3

1	430 19 5																		
2	1 1 1 0.5454	0.08314	2	1 1 1 2 1 1	1 1 1 0 1 0 0														
3	0 0 0 1																		
4	1 1 1 0.5454	0.08314	2	1 1 2 3 1 0.67	2 2 1 0 0 5 0 0														
5	1 0 0 0																		
6	1 1 1 0.5454	0.08314	2	1 1 4 4 1 0 4 4	1 0 0 2 0 0 0														
7	0 0 0 1																		
8	1 1 1 0.5454	0.08314	2	1 1 4 4 1 0 4 4	1 0 0 2 0 0 0														
9	0 0 0 1																		
10	1 1 1 0.5454	0.08314	2	1 1 4 4 1 0 5 5	1 0 0 2 0 0														

Fig. 3. Fragment of the processed training sample

Creating neural network in Fann Explorer.

Fann Explorer (Fann Artificial Neural Networks) from Macromedia Inc is a portable environment for the development, training and testing of neural networks; supports animation of the training process; implements multilayer artificial neural networks; has a multi-threaded kernel that provides computing. The Neural Network was created with the participation of the student Mamenko D. V., setting of NN architecture is shown in Fig. 4

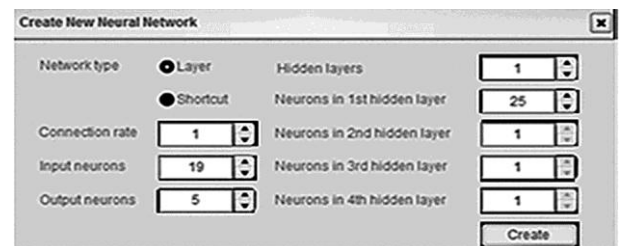


Fig. 4. Setting of NN architecture

Training of neural network. The purpose of NN training is to match such values of its parameters, in which the error of training is minimal. In the Fann Explorer program, the network training options are set using the Train tab (Training algorithm).

Incremental algorithm is a standard reverse error propagation algorithm where weighting factors are updated after each training period. This means that weights are updated many times during one training.

Resilient algorithm is a batch training algorithm that provides good results for many tasks, the algorithm is adaptive and does not use Training rate for training.

Quick algorithm uses the Training rate parameter and gives good results when solving problems.

Batch method is a standard reverse propagation algorithm where the weights are updated after calculating the mean square error for the entire training sample. Since the average square of the error is calculated more correctly than in the sequential

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

algorithm, some tasks will achieve more effective solutions with this algorithm.

Error Function: Linear is a linear error function that calculates it as the difference between the actual result given by the neural network and the expected value that the operator has set; Tangential (Tanh) is a function of error, which makes a large deviation during training. The idea of the function is that it is better if 10 neurons have an error of 10% at the output, than one of them will have an error of 100%. This function is the default error, but it can lead to poor training outcomes if you set the Training rate too high.

The functions of Hidden layer activation and Output layer activation are as follows: Symmetric, Asymmetric-Linear, Sigmoid, Stepwise, Threshold.

The Training menu manages the training process of NN, sets the adaptation parameters of the NN link weight factors such as: the number of training periods, the value of the mean square error, the initial values of the NN link weight factors using the Initialize button.

Testing of neural network. Figure 5 shows a graph of NN testing of 19-1-25-5 configuration after training and testing on the appropriate samples. The bright line on the graph shows the expected response, while the darker one is the actual response. The test error is 0.05868; the lines almost coincide, so NN is well suited to the task.

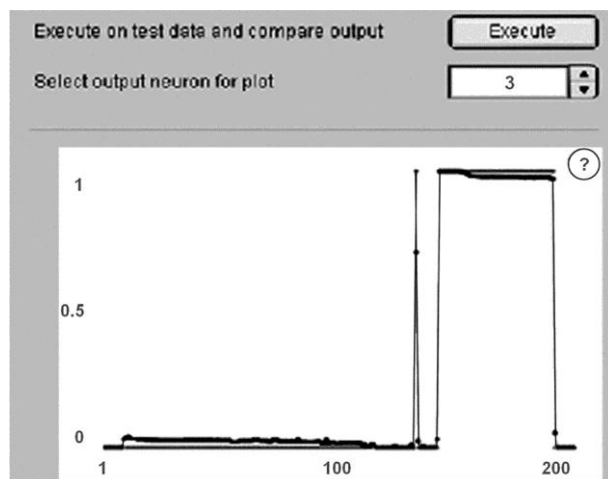


Fig. 5. NN testing schedule

Analysis of the results. The NN of 19-1-25-5 configuration was trained according to the standard algorithm for error propagation and the training

speed of 0.699. Activation function is sigmoid (symmetric); error function is tangential. NN passed 6,000 training epochs. After training (430 examples) and testing (200 examples), NN determined the error of 0.1066, as shown in Fig. 6

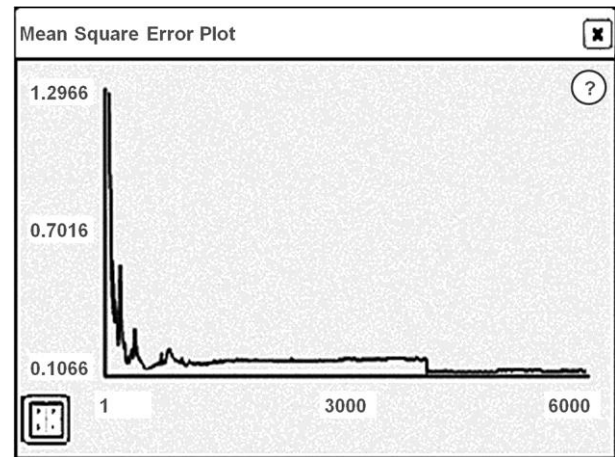


Fig. 6. Error after NN training

But when testing on a control sample, which consisted of 25 examples for each of the five threats, NM determined an error of 0.322. Thus, the NN copes well with Back, Buffer_overflow and Ipsweep attacks, but it does not recognize the Quess_password and Neptune attacks. From the test schedule on the control sample, it can be seen that the first neuron responsible for detecting the Back attack detected four of the five threats (the darker line is an expected solution, and the lighter is the actual one), Fig. 7 (a).

Also, NN recognized all five threats of Buffer_overflow type, fig. 7 (b). The lines on the chart are almost the same, but also one of the threats of Back type is incorrectly assigned by NN to the Buffer_overflow class. The obtained results of the experimental study are presented in Table 1.

Study of network training time versus the number of hidden neurons. The study was carried out on NN with different number of neurons in a hidden layer: from 10 to 55. Experiments were carried out on the following models: Model No. 1 (Initialize Resilient Sigmoid Stepwise Algorithm), Model No. 2 (Randomize Batch Sigmoid Symmetric Algorithm). The results of studies are presented in Table 2.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

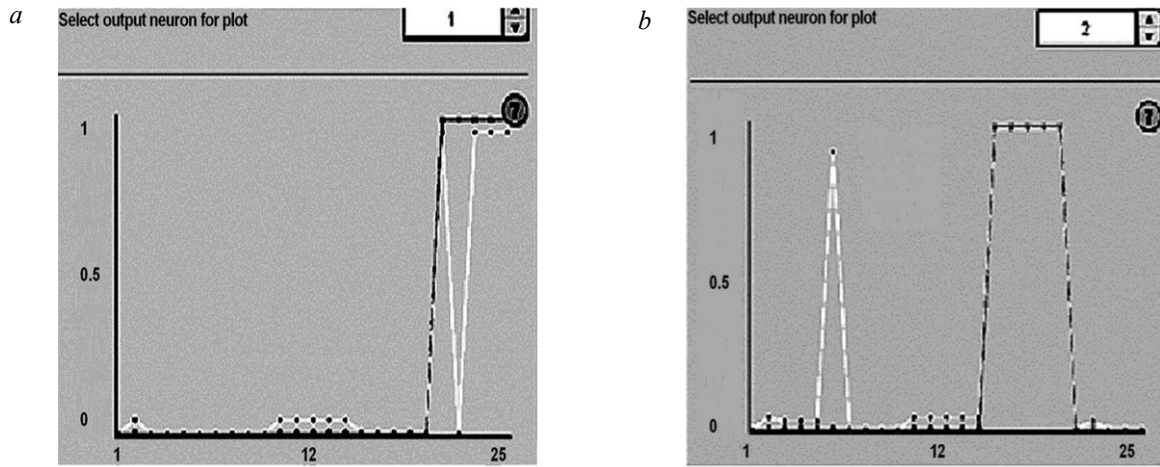


Fig. 7. Graph of the resulting neuron of the network:
a – the first one; b – the second one

Table 1

Results of NN operation on a control sample

Attack	Number of attacks	Number of detected attacks	Number of recognition errors
Back	5	4	1
Buffer_overflow	5	5	1
Quess_password	5	2	5
Ipsweep	5	4	1
Neptune	5	1	5

Table 2

Dependence of NN training time on the number of hidden neurons

Number of neurons in the hidden layer	Model No. 1		Model No. 2	
	Error	Number of training epochs	Error	Number of training epochs
10	0.1982	20 039	0.1996	6 387
15	0.1994	253	0.2021	2 000
25	0.197	214	0.1993	33
35	0.196	170	0.1977	22
45	0.1964	116	0.1960	18
55	0.199	249	0.193	35

When increasing the number of neurons in the hidden layer, the NN is trained faster, but in some cases, when the optimal amount starts to exceed (> 45), the training rate falls. In addition, model No. 2 is trained much faster than model No. 1. The con-

structed graphs of dependence of the number of epochs on the number of neurons in the hidden layer under different training algorithms are presented in Fig. 8.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

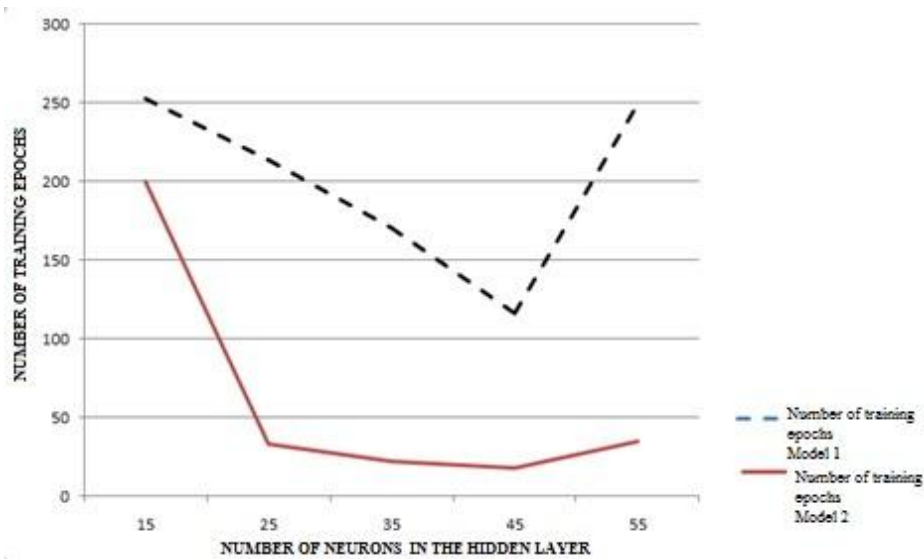


Fig. 8. Dependence of the number of epochs on the number of hidden neurons

Study of training time versus the number of hidden layers. The study was carried out on NN with a different number of hidden layers: from 1 to 4; 15 formal neurons in each. Experiments were carried out on the following models: Model No. 3

(Incremental Training rate 0.4), Model No. 4 (Resilient Training rate 0.8). The initialization algorithm was Randomize, activation function – sigmoid (symmetric). The results of experimental studies are listed in Table. 3.

Table 3

Dependence of NN training time on the number of hidden layers

Number of hidden layer	Model No. 3		Model No. 4	
	Error	Number of training epochs	Error	Number of training epochs
1	0.1495	93 775	0.1694	164
2	0.1994	551	0.01394	178
3	0.1279	484	0.1413	224
4	0.1435	2272	0.1478	547

The graphs of the dependence of the number of training epochs on the number of hidden layers based on different training algorithms are plotted and shown in Fig. 9.

From the figure it can be seen that when increasing the number of hidden layers (> 3) in NN, training accelerates only to a certain point, until the layers become too many, then the network begins to slow down. In addition, the model No. 4 is trained almost twice as fast as the model No. 3, but has a bigger error, which results from an increased training rate.

Originality and practical value

The originality lies in the fact that there are found dependencies of the training time (number of epochs) of the multilayer neural network on the number of hidden layers and hidden neurons according to different training algorithms. The practical value is that the network traffic parameters, using the 19-1-25-5 configuration neural network, will allow in real-time to detect the threats of Back, Buffer_overflow, Quess_password, Ipsweep, Neptune on the computer network and carry out appropriate control.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

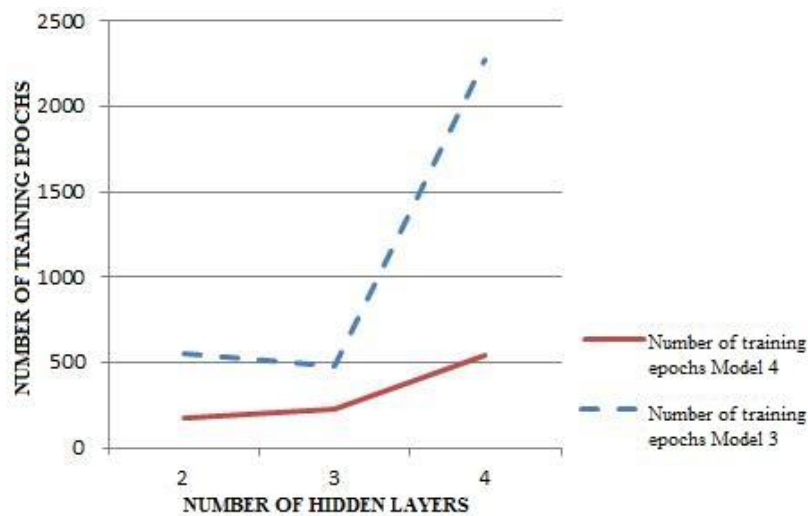


Fig. 9. Dependence of the number of training epochs on the number of hidden layers

Conclusions

1. At the preparatory stage, based on the data of the KDDCUP-99 database, the following samples were generated: training (430 examples), test (200 examples), control (25 examples).

2. To determine the attacks (Back, Buffer_overflow, Quess_password, Ipsweep, Neptune) in the computer network, the Fann Explorer program created NN of 19-1-25-5 configuration, with 19 network traffic parameters inputted; training, testing (error 0.1) and evaluation of the received results (error 0.3) on the corresponding samples were conducted. In particular, the first neuron re-

sponsible for recognizing the Back attack detected four of the five threats.

3. Experimental studies of the dependence of the training time (number of epochs) on the number of hidden neurons (from 10 to 55) on NN were conducted: Model No. 1 (Resilient algorithm), Model No. 2 (Batch algorithm); the Batch algorithm NM is trained three times faster than the NN based on the Resilient algorithm. The experimental studies of the dependence of the training time on the number of hidden layers (from 1 to 4) on the NN were conducted: Model No. 3 (Incremental algorithm), Model No. 4 (Resilient algorithm); the Resilient algorithm NM is trained almost twice as fast as NN by the Incremental algorithm.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Гришин, А. В. Нейросетевые технологии в задачах обнаружения компьютерных атак / А. В. Гришин // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2011. – № 1. – С. 53–64.
2. Жульков, Е. В. Построение модульных нейронных сетей для обнаружения классов сетевых атак [Electronic resource] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.19 / Жульков Евгений Владимирович ; Санкт-Петербург. гос. политехн. ун-т. – Санкт-Петербург, 2007. – 15 с. – Available at: <http://elibr.spbstu.ru/dl/1501.pdf/view>. – Title from the screen. – Accessed : 15.02.2018.
3. Корпань, Я. В. Комплекс методів та засобів захисту інформації в комп'ютерних системах / Я. В. Корпань // Мир науки и инноваций. – 2015. – Т. 3. – С. 31–35.
4. Марченко, А. К. Обнаружение атак в системах нейросетевыми средствами / А. А. Марченко, С. В. Матвиенко, Ф. Г. Нестерук // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. – 2007. – № 39. – С. 83–93.
5. Пахомова, В. М. Можливості модернізації комп'ютерної мережі інформаційно-телекомунікаційної системи Придніпровської залізниці / В. М. Пахомова // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2015. – № 5. – С. 32–38.

6. Пилюгина, К. Н. Применение нейронных сетей с целью обнаружения вторжений [Electronic resource] / К. Н. Пилюгина // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 2. – Available at: <http://web.snauka.ru/issues/2016/02/63248>. – Title from the screen. – Accessed : 19.02.2018.
7. Писаренко, И. Нейросетевые технологии в безопасности [Electronic resource] / И. Писаренко // Information Security. – 2009. – № 4. – Available at: <http://www.itsec.ru/articles2/Oborandteh/neyrosetevye-tehnologii-v-biznese>. – Title from the screen. – Accessed : 19.02.2018.
8. Постарнак, Д. В. Критический анализ моделей нейронных сетей / Д. В. Постарнак // Вестн. Тюмен. гос. ун-та. Физико-математ. науки. Информатика. – 2012. – № 4. – С. 162–167.
9. Amini, M. Effective Intrusion Detection with a Neural Network Ensemble using Fuzzy Clustering and Stacking Combination Method / M. Amini, J. Rezaeenour, E. Hadavandi // Journal of Computing and Security. – 2015. – Vol. 1. – Iss. 4. – P. 293–305.
10. Amini, M. A Neural Network Ensemble Classifier for Effective Intrusion Detection using Fuzzy Clustering and Radial Basis Function Networks / M. Amini, J. Rezaeenour, E. Hadavandi // Intern. Journal on Artificial Intelligence Tools. – 2016. – Vol. 25. – Iss. 02. – P. 1550033. doi: 10.1142/s0218213015500335.
11. A Survey of Artificial Immune System Based Intrusion Detection / Hua Yang, Tao Li, Xinlei Hu, Feng Wang, Yang Zou // The Scientific World Journal. – 2014. – Vol. 2014. – P. 1–11. doi: 10.1155/2014/156790.
12. Branitskiy, A. Network attack detection based on combination of neural, immune and neuro-fuzzy classifiers / A. Branitskiy, I. Kotenko // 2015 IEEE 18th Intern. Conf. on Computational Science and Engineering : Conf. Paper (21–23 Oct. 2015). – Porto, Portugal, 2015. – P. 152–159. doi: 10.1109/cse.2015.26.
13. Cannady, J. Artificial Neural Networks for Misuse Detection / J. Cannady // Proc. of the 21st National Information Systems Security Conference (October 5–8, 1998). – Arlington, Virginia, 1998. – P. 443–456.
14. KDDCup1999Data [Electronic resource]. – Available at: <http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/kddcup99.html>. – Title from the screen. – Accessed : 19.02.2018.
15. Moradi, M. System for intrusion Detection and Classification of Attacks [Electronic resource] // Інформаційний портал університету Квінс. – 2013. – Available at: <http://research.cs.queensu.ca/moradi/148-04-mm-mz.pdf>. – Title from the screen. – Accessed : 19.02.2018.
16. Pakhomova, V. M. Network Traffic Forecasting in information-telecommunication System of Prydniprovsk Railways Based on Neuro-fuzzy Network / V. M. Pakhomova // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 6 (66). – С. 105–114. doi: 10.15802/stp2016/90485.

І. В. ЖУКОВИЦЬКИЙ^{1*}, В. М. ПАХОМОВА^{2*}

^{1*}Каф. «Електронні обчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, ел. пошта ivzhuk@ua.fm, ORCID 0000-0002-3491-5976

^{2*}Каф. «Електронні обчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, ел. пошта viknikpakh@gmail.com, ORCID 0000-0002-0022-099X

ВИЯВЛЕННЯ ЗАГРОЗ У КОМП'ЮТЕРНІЙ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ БАГАТОШАРОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Мета. Останнім часом все частіше з'являються повідомлення про проникнення в комп'ютерні мережі та атаки на Web-сервери. Атаки поділяють на наступні категорії: DoS, U2R, R2L, Probe. Метою статті є виявлення загроз у комп'ютерній мережі на основі параметрів мережного трафіка з використанням нейромережної технології, що дозволить захистити сервер. **Методика.** Виявлення в комп'ютерній мережі таких загроз, як Back, Buffer_overflow, Quess_password, Ipsweep, Neptune здійснено на основі аналізу та обробки даних про параметри мережних з'єднань, що використовують стек протоколів TCP/IP, із застосуванням нейронної мережі конфігурації 19-1-25-5 у програмі Fann Explorer. Під час моделювання роботи нейронної мережі використані навчальна (430 прикладів), тестова (200 прикладів) та контрольна (25 прикладів) вибірки, що складені на основі відкритої бази даних KDDCUP-99 із 5 000 000 записів про з'єднання. **Результати.** Створена нейронна мережа на контрольній вибірці визначила похибку в 0,322. Визначено, що мережа конфігурації 19-1-25-5 добре справляється з такими атаками, як Back, Buffer_overflow та Ipsweep. Для розпізнання атак Quess_password і Neptune недостатньо завдання 19 параметрів мережного трафіку. **Наукова новизна.** Отримані залежності часу навчання (кількості епох) нейронної мережі від кількості нейронів у прихованому шарі (від 10 до 55) та кількості прихованих шарів (від 1 до 4). За умови збільшення

кількості нейронів у прихованому шарі нейронна мережа за алгоритмом Batch навчається швидше майже в три рази, ніж нейронна мережа за алгоритмом Resilient. Якщо збільшити кількість прихованих шарів, нейронна мережа за алгоритмом Resilient навчається майже в два рази швидше, ніж за алгоритмом Incremental. **Практична значимість.** На основі параметрів мережного трафіка використання нейронної мережі конфігурації 19-1-25-5 дозволить у реальному часі виявити загрози Back, Buffer_overflow, Quess_password, Ipsweep, Neptune на комп'ютерну мережу та здійснити відповідний контроль.

Ключові слова: мережний трафік; загроза; нейронна мережа; вибірка; прихований шар; приховані нейрони; алгоритм навчання; кількість епох; похибка

И. В. ЖУКОВИЦКИЙ^{1*}, В. Н. ПАХОМОВА^{2*}

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

^{2*}Каф. «Электронные вычислительные машины», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, эл. почта ivzhuk.ua.fm, ORCID 0000-0002-0022-099X

ВЫЯВЛЕНИЕ УГРОЗ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Цель. В последнее время все чаще появляются сообщения о проникновении в компьютерные сети и атаки на Web-серверы. Атаки подразделяют на следующие категории: DoS, U2R, R2L, Probe. Целью статьи является выявление угроз в компьютерной сети на основе параметров сетевого трафика с использованием нейросетевой технологии, что позволит защитить сервер. **Методика.** Обнаружение в компьютерной сети таких угроз как Back, Buffer_overflow, Quess_password, Ipsweep, Neptune осуществлено на основе анализа и обработки данных о параметрах сетевых соединений, что используют стек протоколов TCP/IP, с применением нейронной сети конфигурации 19-1-25-5 в программе Fann Explorer. При моделировании работы нейронной сети использованы учебная (430 примеров), тестовая (200 примеров) и контрольная (25 примеров) выборки, составленные на основе открытой базы данных KDDCUP-99 с 5 000 000 записей о соединении. **Результаты.** Созданная нейронная сеть на контрольной выборке определила погрешность в 0,322. Определено, что сеть конфигурации 19-1-25-5 хорошо справляется с такими атаками как Back, Buffer_overflow и Ipsweep. Для распознавания атак Quess_password и Neptune недостаточно задания 19 параметров сетевого трафика. **Научная новизна.** Получены зависимости времени обучения (количества эпох) нейронной сети от количества нейронов в скрытом слое (от 10 до 55) и количества скрытых слоев (от 1 до 4). При условии увеличения количества нейронов в скрытом слое нейронная сеть по алгоритму Batch учится быстрее почти в три раза, чем нейронная сеть по алгоритму Resilient. Если увеличить количество скрытых слоев, нейронная сеть по алгоритму Resilient учится почти в два раза быстрее, чем по алгоритму Incremental. **Практическая значимость.** На основе параметров сетевого трафика использование нейронной сети конфигурации 19-1-25-5 позволит в реальном времени обнаружить угрозы Back, Buffer_overflow, Quess_password, Ipsweep, Neptune на компьютерную сеть и осуществить соответствующий контроль.

Ключевые слова: сетевой трафик; угроза; нейронная сеть; выборка; скрытый слой; скрытые нейроны; алгоритм обучения; количество эпох; погрешность

REFERENCES

1. Grishin, A. V. (2011). Neyrosetevye tekhnologii v zadachakh obnaruzheniya kompyuternykh atak. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy*, 1, 53-64. (in Ukrainian).
2. Zhulkov, Y. V. (2007). *Postroenie modulnykh neyronnykh setey dlya obnaruzheniya klassov setevykh atak* (Dysertatsiia kandydata tekhnichnykh nauk). Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg. (in Russian)
3. Korpan, Y. V. (2015). Kompleks metodiv ta zasobiv zakhystu informatsii v kompiuternykh systemakh. *Mir nauki i innovatsiy*, 3, 31-35. (in Ukrainian)
4. Marchenko, A. A., Matvienko, S. V., & Nesteruk, F. G. (2007). Obnaruzhenie atak v sistemakh neyrosetevymi sredstvami. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 7(5), 83-93. (in English)

5. Pakhomova, V. N. (2015). The possibilities of upgrading the computer network of information-telecommunication system of Dnieper railway. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti*, 5, 32-38. (in Ukrainian)
6. Piliugina, K. N. (2016). Artificial neural network approaches to intrusion detection. *Modern Scientific Researches and Innovations*, 2. Retrived from <http://web.snauka.ru/issues/2016/02/63248>. (in Russian)
7. Pisarenko, I. (2009). Neyrosetevye tekhnologii v bezopasnosti . *Information Security*, 4. Retrived from <http://www.itsec.ru/articles2/Oborandteh/neyrosetevye-tehnologii-v-biznese>. (in Russian)
8. Postarnak, D. V. (2012). Kriticheskiy analiz modeley neyronnykh setey. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Fiziko-matematicheskie nauki. Informatika*, 4, 162-167. (in Russian)
9. Amini, M., Rezaeenour, J., & Hadavandi, E. (2015). Effective Intrusion Detection with a Neural Network Ensemble using Fuzzy Clustering and Stacking Combination Method. *Journal of Computing and Security*, 1(4), 293-305. (in English)
10. Amini, M. A., Rezaeenour, J., & Hadavandi, E. (2016). Neural Network Ensemble Classifier for Effective Intrusion Detection using Fuzzy Clustering and Radial Basis Function Networks. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 25 (02), 1550033. doi: 10.1142/s0218213015500335. (in English)
11. Hua Yang, Tao Li, Xinlei Hu, Feng Wang, & Yang Zou. (2014). A Survey of Artificial Immune System Based Intrusion Detection. *The Scientific World Journal*, 2014, 1-11. doi: 10.1155/2014/156790. (in English)
12. Branitskiy, A., & Kotenko, I. (2015). Network attack detection based on combination of neural, immune and neuro-fuzzy classifiers. *The 18th IEEE Intern. Conf. on Computational Science and Engineering (IEEE CSE2015)*, 152-159. doi: 10.1109/cse.2015.26. (in English)
13. Cannady, J. (1998). Artificial Neural Networks for Misuse Detection. *Proceedings of the 21st National Information Systems Security Conference (NISSC) (October 5–8, 1998)*, 443-456. (in English)
14. *KDDCup1999Data* (1999). Retrived from <http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/kddcup99.html>. (in English)
15. Moradi, M. (2013). System for intrusion Detection and Classification of Attacks. *Інформаційний портал університету Квінс*. Retrived from <http://research.cs.queensu.ca/moradi/148-04-mm-mz.pdf>. (in English)
16. Pakhomova, V. M. (2016). Network Traffic Forecasting in information-telecommunication System of Prydniprovsk Railways Based on Neuro-fuzzy Network. *Science and Transport Progress*, 6(66), 105-114. doi: 10.15802/stp2016/90485. (in English)

Prof. A. A. Kosolapov, Dr. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Jan. 09, 2018

Accessed: April 11, 2018

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

УДК 621.873: 0,1(0.75)

В. М. БОГОМАЗ^{1*}, Л. Н. БОНДАРЕНКО^{2*}, О. В. БОГОМАЗ³, М. Г. БРЫЛЁВА⁴

^{1*}Каф. «Военная подготовка специалистов Государственной специальной службы транспорта», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, эл. почта wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

^{2*}Каф. «Прикладная механика и материаловедение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта bondarenko-l-m2015@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2212-3058

³Каф. «Прикладная механика и материаловедение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта o.bogomas@gmail.com, ORCID 0000-0002-6400-3230

⁴Каф. «Прикладная механика и материаловедение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта mary.brilewa@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6331-0880

ВЛИЯНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ КАЧЕНИЮ НА ДИНАМИКУ МЕХАНИЗМОВ ПОДЪЕМА ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ МАШИН

Цель. Коэффициент трения качения в подшипниках определяет величину сопротивления вращению канатных барабанов механизмов подъема транспортирующих машин, что влияет на значение коэффициента полезного действия таких машин и, соответственно, на их динамику. Для уточнения величин коэффициента полезного действия (КПД) и скорости движения груза в работе необходимо аналитическим способом определить величину приведенного к цапфе коэффициента трения качения для шариковых подшипников барабана механизма подъема, а также оценить его влияние на динамику такого механизма. **Методика.** В работе применяются зависимости для определения коэффициента сопротивления шарикового подшипника канатного барабана механизма подъема при вращении его как внутренней, так и наружной обойм, а также расчетные схемы подшипника и барабана. **Результаты.** По итогам исследований приведены зависимости для определения скорости движения груза и коэффициента полезного действия механизма подъема транспортирующих машин с уточненным значением коэффициента сопротивления движению. Построены соответствующие графические зависимости для конкретного примера. Анализ полученных зависимостей и графиков позволяет сделать следующие выводы: 1) скорость опускания груза зависит от положения каната по длине барабана, уменьшаясь при приближении к середине; 2) приведенный к цапфе коэффициент трения подшипников барабана увеличивается с приближением каната к середине барабана; 3) КПД канатного барабана зависит от положения каната на барабане, уменьшаясь с приближением каната к середине барабана; 4) КПД подшипника зависит от того, какая обойма вращается: внутренняя или наружная, и разница зависит как от нагрузки на подшипник, так и от смазки, достигая более 3 % при ее отсутствии и 2 % – при жидкой смазке. **Научная новизна.** Авторы получили уточненные зависимости скорости подъема груза и КПД механизмов подъема, используя при этом зависимости по определению коэффициента сопротивления движения в подшипниках барабана. **Практическая значимость.** Полученные значения сопротивлений могут быть применены для уточненных расчетов механизмов подъема транспортирующих машин.

Ключевые слова: барабан; трение; сопротивление; подшипник; КПД – коэффициент полезного действия

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Введение

При статическом или динамическом расчете механизмов с качением обычно используют экспериментально полученные величины коэффициентов трения качения при расчете механизмов передвижения кранов, коэффициенты трения подшипников качения, приведенные к валу, (при расчете узлов с подшипниками качения), относительную величину сопротивления качению колес (при расчете подвижного состава поездов) и другие экспериментально полученные величины и зависимости.

Многими авторами было получено большое количество формул для определения сопротивлений качению. Но они обычно содержали величины, которые определялись экспериментально и определения их требует большего труда, чем определение самого сопротивления.

Аналитические зависимости не могли быть получены до решения основных задач о контактных напряжениях и деформациях методами теории упругости Г. Герца в 1881–1882 гг. Только через 60 лет после исследований Г. Герца Д. Табором [15] получены аналитические зависимости по определению коэффициентов трения качения при линейном и точечном контакте.

Д. Табором получены следующие зависимости для определения коэффициента трения качения:

– при линейном контакте:

$$k = \frac{2b}{3\pi} \alpha, \quad (1)$$

– при точечном контакте:

$$k = \frac{3b}{16} \alpha, \quad (2)$$

где b – полуширина пятна контакта, определяемая согласно теории Г. Герца; α – коэффициент гистерезисных потерь.

Поскольку коэффициент α имеет молекулярно-механическую природу, то определить его для практического использования вряд ли возможно, поэтому эти формулы не имеют практического применения.

При использовании формул (1)–(2) и при хорошо апробированных величинах коэффици-

ента трения качения для крановых колес в [2, 11] найдены коэффициенты α .

Аналогично формулам (1) и (2) эти формулы получены в виде:

$$k = \frac{2b}{3\pi} e^{-1,2R}, \quad (3)$$

$$k = \frac{3b}{16} e^{-0,2R}, \quad (4)$$

где R – радиус катящегося тела качения в метрах.

Естественно, эти формулы пригодны для металлов, а для других материалов требуют уточнений. Проблемы определения коэффициента сопротивления качению и его влияния на динамику механизмов подъема, а также задачи, связанные с ними, рассматривались в разной мере в работах разных авторов [1, 3, 7, 9, 10, 12, 13, 14].

Цель

Определить аналитическим способом величину приведенного к цапфе коэффициента трения качения для подшипниковых подшипников, а также оценить его влияние на динамику механизмов подъема.

Методика

Используется расчетно-аналитический метод. В шариковых подшипниках (примерно в равных случаях) могут вращаться как внутренняя, так и наружная обоймы. Несмотря на это в справочной литературе приводится только одна величина приведенного к валу коэффициента трения.

Рассмотрим случай, когда вращается внутренняя обойма подшипникового подшипника.

На рис. 1 приведена схема рассматриваемого шарикоподшипника. Приложенная к валу сила Q через внутреннее кольцо передается подшипникам, которые нагружаются неравномерно. Наибольшую нагрузку воспринимает подшипник с центром, расположенным на линии действия силы Q , а наименьшую – с центром на линии, перпендикулярной Q . Нагрузки воспринимают только те шарикоподшипники, которые располагаются ниже горизонтального

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

діаметра. Сили P_i , координированные углом γ_i относительно линии действия силы Q , будем считать симметричными.

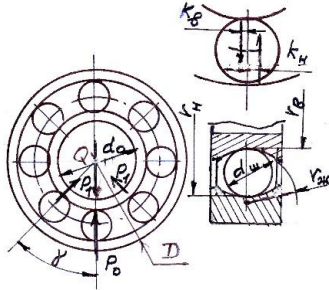


Рис. 1. Принятые обозначения к расчету шарикоподшипника

Fig. 1. Accepted designations for the calculation of the ball bearing

Нагрузка, приходящая на наиболее нагруженный подшипник [5, 6, 8]:

$$P_o = \frac{5Q}{Z}, Z = 2,9 \frac{D + d_o}{D - d_o}. \quad (5)$$

На один боковой шарик действует сила:

$$P_o = P_o \cos^{3/2} \gamma_i. \quad (6)$$

Рассмотрим случай, когда вращается внутренняя обойма шарикоподшипника (при неподвижной наружной).

Получив нагрузки на подшипники и приняв их размеры, определим сопротивления качению наиболее нагруженного шарикоподшипника по внутренней и наружной обоймам, рассчитаем сначала полуширину пятна контакта. При одинаковых коэффициентах Пуассона подшипников и обоймы, которые равны 0,3, а также равенстве их модулей упругости [5], полуширина пятна контакта равна:

$$b_{ob} = 1,397 n_{bb} \sqrt{\frac{P_o}{E} \cdot \frac{1}{2/r_{ш} - 1/r_{ж} + 1/r_{н}}}, \quad (7)$$

где n_{bb} – величина, зависящая от отношения коэффициентов A и B уравнения эллипса касания

$$\frac{A}{B} = \frac{\left(\frac{1}{r_{ш}} - \frac{1}{r_{ж}}\right)}{\left(\frac{1}{r_{ш}} + \frac{1}{r_{н}}\right)}; \quad r_{ш} - \text{радиус шарика}; \quad r_{ж} - \text{радиус желоба}; \quad r_{н} - \text{радиус беговой дорожки}$$

внутренней обоймы, $r_{н} = 0,15(D - d_o)$.

При известной величине b_{ob} коэффициент трения качения найдется из формулы (4):

$$k_{ob} = \frac{3b_{ob}}{16} e^{-0,2r_{ш}}, \quad (8)$$

а сопротивление качению наиболее нагруженного шарика по внутренней обойме

$$W_{ob} = \frac{k_{ob} P_o}{r_{ш}}. \quad (9)$$

Полуширина пятна контакта наиболее нагруженного шарика с наружной обоймой:

$$b_{он} = 1,397 n_{bn} \sqrt{\frac{P_o}{E} \cdot \frac{1}{\frac{2}{r_{ш}} - \frac{1}{r_{ж}} - \frac{1}{r_{н}}}}, \quad (10)$$

где n_{bn} – величина, зависящая от отношения коэффициентов уравнения эллипса касания

$$\frac{A}{B} = \frac{\left(\frac{1}{r_{ш}} - \frac{1}{r_{ж}}\right)}{\left(\frac{1}{r_{ш}} + \frac{1}{r_{н}}\right)}; \quad r_{н} - \text{радиус беговой дорожки}$$

наружной обоймы, $r_{н} = r_o + 3r_{ш}$.

Коэффициент трения качения и сопротивления качению найдены по формулам (8) и (9) при замене b_{ob} на $b_{он}$ и k_{ob} на $k_{он}$.

Сопротивление качению боковых подшипников по внутренней и наружной обоймам находится из формул (6) – (10) при замене P_o на P_i .

Для определения коэффициента трения подшипника качения, приведенного к цапфе, найдем работу сил трения качения по внутренней и наружной обоймам на расстоянии, равном длине беговой дорожки на одном повороте, т.е. $L = 2\pi r_{н}$:

$$A_B = (\sum W_B + \sum W_H) 2\pi r_{н}.$$

Работа условной силы F_B , приложенной к радиусу цапфы r_o : $A = 2\pi r_o \mu_B Q$. Приравняв работы, получим силу трения качения по внутренней обойме:

$$F_B = \frac{r_o}{(\sum W_B + \sum W_H) r_{н}},$$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

откуда коэффициент скольжения по внутренней обойме:

$$\mu_b = \frac{(\sum W_b + \sum W_n) r_b}{r_o Q}. \quad (11)$$

W_b, W_n – сопротивление качению по внутренней и наружной обойме.

Теперь рассмотрим случай, когда вращается наружная обойма шарикового подшипника.

Существенным отличием от предыдущего случая является то, что, если в первом случае шарики за один оборот не доходили по наружной обойме расстояния на $\Delta L = 2\pi(r_n - r_b)$, то в этом случае на этом отрезке шарики будут скользить по внутренней обойме (ввиду большего их сопротивления качению по наружной обойме, являющегося движущей силой скольжения).

По аналогии с первым случаем, но с учетом скольжения шариков, работа сил трения по наружной обойме:

$$A_n = 2\pi[(r_b \sum W_b + r_n \sum W_n) + (r_n - r_b)\mu_{ск} Q].$$

Аналогично формуле (11) запишем формулу для определения приведенного к цапфе коэффициента сопротивления подшипника при вращении наружной обоймы:

$$\mu_n = \frac{r_b \sum W_b + r_n \sum W_n + (r_n - r_b)\mu_{ск} Q}{r_o Q}, \quad (12)$$

где $\mu_{ск}$ – коэффициент трения скольжения между шариком и обоймой.

Результаты

Рассмотрим пример расчета механизма подъема с подшипниками, в которых вращается внутренняя или наружная обойма. При этом проведем исследование влияния сопротивления качению подшипников на скорость опускания груза.

Рассмотрим следующую задачу. Груз массой Q подвешен на нерастяжимом канате. Момент инерции барабана I , радиус барабана R , погонная масса каната q . Определим скорость груза при длине каната x (рис. 2), если в начальный момент скорости груза $V_o = 0$, а длина свисающей части каната равна x_o [6].

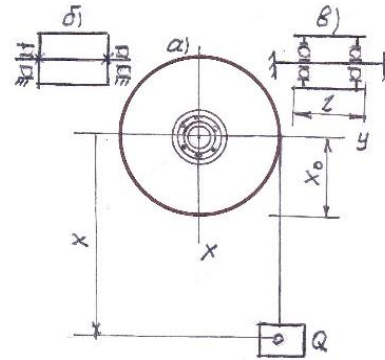


Рис. 2. Расчетная схема механизма подъема при подшипниках с вращением: б – внутренней и в – наружной обойм опорных подшипников

Fig. 2. The design scheme of the lifting mechanism for bearings with the rotation: b – inner and c – outer holders of the bearings

Для решения задачи с учетом трения на оси барабана предположим, что ось опирается на два подшипника. При этом канат может менять положение по длине барабана так, что нагрузка на один подшипник может меняться от 0 до Q .

Максимальную нагрузку на один подшипник примем равной $Q = 50$ кН, которой соответствует подшипниковый подшипник № 313 со статической нагрузкой $Q_{ст} = 5400$ кг, $D = 140$ мм, $d_o = 65$ мм (рис. 1).

Остальные данные примем следующими [4]: радиус барабана $R = 250$ мм, $x_o = 0,5$ м, $x = 6$ м, диаметр подшипников (без округления до стандартного) $d_{ш} = 0,3(D - d_o)$ мм, радиус жолоба беговой дорожки $r_{ж} = 0,515d_{ш} = 11,6$ мм, количество подшипников $Z = \frac{2,9(D + d_b)}{(D - d_o)} = 8$

при угле между шариками $\gamma = 45^\circ$.

Нагрузка на наиболее загруженный шарик:

$$P_o = \frac{5Q}{Z} = 30 \text{ кН.}$$

На один боковой шарик:

$$P_1 = P_o \cos^{3/2} \gamma = 23,8 \text{ кН.}$$

Сопротивления качению центрального и двух боковых подшипников рассчитываются по формулам (7) – (10) и их зависимости от положения каната на барабане показаны на рис. 3.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

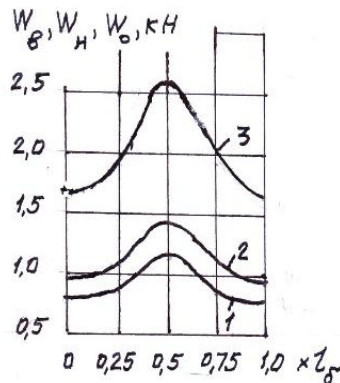


Рис. 3. Зависимость сопротивлений качению подшипников от положения каната на барабане:
1 – по внутренней обойме, 2 – по наружной обойме,
3 – суммарное, $W_g + W_n = W$

Fig. 3. The dependence of rolling resistance of balls on the position of the rope on the drum:
1 – on the inner cage, 2 – on the outer cage,
3 – total, $W_i + W_o = W$

Коэффициент трения подшипников, приведенный к валу (оси) барабана согласно формулам (11) и (12) при положении каната на барабане, соответствующем 0; 0,25; 0,75; 0,5 · L составят соответственно:

- при вращении внутренней обоймы
 $\mu_g = 0,0480; 0,0493; 0,0711;$
- при вращении наружной обоймы
 $\mu_n = 0,0946; 0,1328; 0,1953$

(скольжение подшипников без отсутствия смазки).

Зависимость коэффициента трения подшипника, приведенного к валу, от положения каната показана на рис. 4. Там же показаны коэффициенты трения скольжения стали по стали при разных способах смазки и рекомендуемая величина приведенного к цапфе коэффициента трения для шарикоподшипника.

Аналитического выражения для определения w_g и w_n , очевидно, не существует, ввиду отсутствия выражения для определения коэффициента трения качения. Без указания на его величину при равенстве коэффициента для беговых дорожек внутренней и наружной обойм, независимо от нагрузки на шарик, такое выражение приведено в [4]. Таким образом,

$$\mu = \frac{1,4k}{r_o} \left(1 + \frac{r_b}{r_{ш}} \right).$$

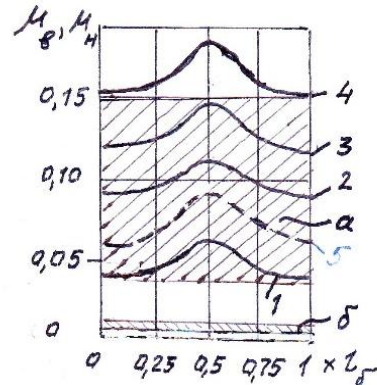


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения подшипника № 313 приведенного к валу, от положения каната на барабане (нагрузки на подшипник) при вращении:

- 1 – внутренней обоймы; 2 – наружной обоймы при коэффициенте трения скольжения подшипника по внутренней обойме $\mu = 0,05$ (смазка в масляной ванне);
- 3 – то же при $\mu = 0,15$ (смазка отсутствует);
- 5 – без учета скольжения подшипников по обойме;
- область а – рекомендуемые величины коэффициентов трения скольжения; область б – рекомендуемые величины приведенного коэффициента для шарикоподшипников.

Fig. 4. Dependence of the friction coefficient of bearing No. 313 reduced to the shaft from the position of the rope on the drum (load on the bearing):

- 1 – on the inner cage; 2 – the outer cage at a coefficient of sliding friction of the bearing along the inner cage, $\mu = 0.05$ (lubricant in the oil bath); 3 – the same at $\mu = 0.15$ (no lubricant); 5 – without sliding of bearings along the cage; а – recommended values of sliding friction coefficients; area b – recommended values of the reduced coefficient for ball bearings.

Дополнительное отсутствие в этой формуле радиуса беговой дорожки наружной обоймы указывает на возможную большую погрешность при определении коэффициента.

Подстановка величины $k_{ob} = 0,133$ мм при $P_o = 30$ кН и принятых величин r_o , r_b , $r_{ш}$ дает величину $\mu = 0,028$, что не соответствует ни полученным величинам $\mu_b = 0,043$, $\mu_n = 0,094$, ни рекомендуемой величине $\mu = 0,01 \dots 0,015$ для шарикоподшипников.

Для решения поставленной задачи запишем выражение, определяющее кинетическую энергию системы T_2 в текущем положении, и приравняем её к работе внешних сил с учетом трения и с учетом того, что в начальный момент

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

$T_1 = 0$. Таким образом, получим:

$$T_2 = A_{12}^e = \frac{Qv^2}{2} + \frac{Iv^2}{2R^2} = Q \cdot g \cdot \left(1 - \frac{\mu r_o}{R}\right) \cdot (x - x_o).$$

Отсюда

$$v = \sqrt{\frac{2Qg\left(1 - \frac{\mu r_o}{R}\right) \cdot (x - x_o)}{Q + \frac{I}{R^2}}}, \quad (13)$$

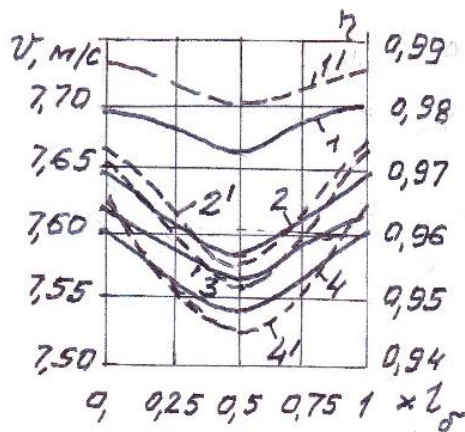


Рис. 5. Зависимости скорости опускания груза и КПД системы от положения каната на барабане:

1, 1' – v и η при вращении внутренней обоймы;
2, 2', 3, 3', 4, 4' – v и η при вращении наружной
обоймы и коэффициентах трения скольжения
между шариками и обоймой 0,05; 0,1; 0,15 соответственно

Fig. 5. Dependences of the speed of lowering the load and the efficiency of the system from the position of the rope on the drum:

1, 1' – v and η at the rotation of the inner cage;
2, 2', 3, 3', 4, 4' – v and η when the outer cage
is rotated and the sliding friction coefficients between
the balls and the cage are 0.05; 0.1; 0.15 respectively

На рис. 5 аналогично рис. 4 показаны скорости и коэффициента полезного действия (далее – КПД, обозначен штриховыми линиями) механизма в зависимости от положения каната на барабане. КПД могут быть получены из составляющей подкоренного выражения:

$$\eta = 1 - \mu \frac{r_o}{R} \quad [9]$$

или

$$\eta = \frac{1}{1 + \mu \frac{d_o}{D_6}} \quad [10]. \quad (14)$$

Таким образом, при $L_6 = 0$ значение КПД, найденного по формуле (14) соответствует величине КПД канатного блока, рекомендуемого в справочной литературе $\eta = 0,98 \dots 0,97$ на подшипниках качения при полученной величине $\eta_b = 0,987; 0,986; 0,980$ и $\eta = 0,974; 0,973$ и 0,966 в зависимости от смазки.

Научная новизна и практическая значимость

С помощью зависимости по определению коэффициента сопротивления движения в подшипниках барабана получены уточненные зависимости скорости подъема груза и коэффициента полезного действия механизмов подъема.

Используемые полученные значения сопротивлений могут быть применены для уточненных расчетов механизмов подъема транспортирующих машин.

Выводы

Анализ полученных зависимостей и графиков позволяет сделать следующие выводы и предположения:

- скорость опускания груза зависит от положения каната по длине барабана, уменьшаясь при приближении к его середине;
- приведенный к цапфе коэффициент трения подшипников барабана увеличивается с приближением каната к середине барабана;
- КПД канатного барабана зависит от положения каната на барабане, уменьшаясь с приближением каната к середине барабана;
- КПД подшипника зависит от того, какая обойма вращается: внутренняя или наружная разница зависит как от нагрузки на подшипник, так и от смазки, достигая более 3 % при ее отсутствии и 2 % – при жидкой смазке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вплив коефіцієнта тертя ковзання та кута обхвату колодкою та стрічкою гальмівного шків на рівновагу важільної системи / В. М. Богомаз, М. Г. Брильова, Л. М. Бондаренко, К. Ц. Главацький // Вісн. нац. ун-ту водного госп-ва та природокористування : Технічні науки : зб. наук. пр. – Рівне, 2015. – № 2. – С. 120–125.
2. Довбня, М. П. Теоретичне визначення сили ковзання при коченні / М. П. Довбня // Проблеми трибології. – 2002. – № 2. – С. 103–106.
3. Ковальський, Б. С. Потери на блоках канатних полиспастов / Б. С. Ковальський // Строительные и дорожные машины. – 1986. – № 8. – С. 34–37.
4. Кожевников, С. Н. Теория машин и механизмов / С. Н. Кожевников. – Москва : Машиностроение, 1969. – 584 с.
5. Механика. Сопротивление материалов (теория и практика) : учеб. пособие / О. М. Болтенкова, О. Ю. Давыдов, В. Г. Егоров, С. В. Ульшин. – Воронеж : Изд-во ВГУИТ, 2013. – 121 с.
6. Прикладная механика : учеб. пособие / Х. С. Гумерова, Н. П. Петухов, В. М. Котляр, С. Г. Сидорин. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2014. – 142 с.
7. Применение и прочность полимерных материалов при изготовлении и ремонте машин и оборудования / Б. А. Грязнов [и др.]. – Киев : Ин-т проблем прочности имени Г. С. Писаренко НАН Украины, 2013. – 296 с.
8. Синенко, Е. Г. Механика : учеб. пособие / Е. Г. Синенко, О. В. Конищева. – Красноярск : Изд-во СФУ, 2015. – 236 с.
9. Способ определения мощности привода механизма передвижения мостового крана при учете трения качения / В. М. Богомаз, Л. М. Бондаренко, К. Ц. Главацький, К. О. Сокол // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 5 (59). – С. 123–131. doi: 10.15802/stp2015/55335.
10. Справочник по кранам : в 2 т. / М. П. Александров, М. М. Гохберг, А. А. Ковин [и др.]. – Ленинград : Машиностроение, 1988. – Т. 2. – 559 с.
11. Яковлев, С. А. Соотношения между показателями сопротивления качению и скольжению в узлах машин / С. А. Яковлев, Л. Н. Бондаренко // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини : зб. наук. пр. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. – Київ, 2003. – Вип. 62. – С. 88–92.
12. A general friction model of discrete interactions for tendon actuated dexterous manipulators / A. Gao, Y. Zou, Z. Wang, H. Liu // J. of Mechanisms and Robotics. – Vol. 9. – Iss. 4. – 2017. – P. 041019. doi: 10.1115/1.4036719.
13. Makhkamov, K. Kh. Energy analysis of wear of sliding friction units / K. Kh. Makhkamov // J. of Friction and Wear. – 2017. – Vol. 38. – Iss. 2. – P. 168–172. doi: 0.3103/s1068366617020143.
14. Rahaman, M. L. Size effect on friction and wear mechanisms of bulk metallic glass / M. L. Rahaman, L. Zhang // Wear. – 2017. – Vol. 376–377. – P. 1522–1527. doi: 10.1016/j.wear.2017.01.068.
15. Tabor, D. The mechanism of rolling friction. II. The elastic range / D. Tabor // Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. – 1955. – Vol. 229. – Iss. 1177. – P. 198–220. doi: 10.1098/rspa.1955.0082.

В. М. БОГОМАЗ^{1*}, Л. М. БОНДАРЕНКО^{2*}, О. В. БОГОМАЗ³, М. Г. БРИЛЬОВА⁴

^{1*}Каф. «Військова підготовка спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, ел. пошта wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

^{2*}Каф. «Прикладна механіка та матеріалознавство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта bondarenko-l-m2015@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2212-3058

³Каф. «Прикладна механіка та матеріалознавство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта o.bogomas@gmail.com, ORCID 0000-0002-6400-3230

⁴Каф. «Прикладна механіка та матеріалознавство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта mary.brilewa@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6331-0880

ВПЛИВ ОПОРУ КОЧЕННЮ НА ДИНАМІКУ МЕХАНІЗМІВ ПІДЙОМУ ТРАНСПОРТУЮЧИХ МАШИН

Мета. Коефіцієнт тертя кочення в підшипниках визначає величину опору обертанню канатних барабанів механізмів підйому транспортуючих машин, що впливає на значення коефіцієнта корисної дії (ККД) таких машин та, відповідно, на їх динаміку. Для уточнення величин коефіцієнта корисної дії та швидкості руху вантажу необхідно аналітичним способом визначити величину приведенного до цапфи коефіцієнта тертя кочення для кулькових підшипників барабана механізму підйому, а також оцінити його вплив на динаміку такого механізму. **Методика.** В роботі наводяться залежності для визначення коефіцієнта опору кулькового підшипника канатного барабана механізму підйому при обертанні його як внутрішньої, так і зовнішньої обойми, а також розрахункові схеми підшипника і барабана. **Результати.** В роботі наведені залежності для визначення швидкості руху вантажу і коефіцієнта корисної дії механізму підйому транспортуючих машин із уточненими значеннями коефіцієнта опору руху. Побудовано відповідні графічні залежності для конкретного прикладу. Аналіз отриманих залежностей та графіків дозволяє зробити наступні висновки: 1) швидкість опускання вантажу залежить від положення каната по довжині барабана, зменшуючись при наближенні до середини; 2) приведений до цапфи коефіцієнт тертя підшипників барабана збільшується з наближенням каната до середини барабана; 3) ККД канатного барабана залежить від положення каната на барабані, зменшуючись із наближенням каната до середини барабана; 4) ККД підшипника залежить від того, яка обойма обертається: внутрішня або зовнішня, і різниця залежить як від навантаження на підшипник, так і змащення, досягаючи більш 3 % при її відсутності та 2 % – при рідкому мастилі. **Наукова новизна.** Автори отримали уточнені залежності швидкості підйому вантажу і ККД механізмів підйому, використавши при цьому залежності по визначенню коефіцієнта опору руху в підшипниках барабана. **Практична значимість.** Отримані значення опорів можуть бути використані для уточнених розрахунків механізмів підйому транспортуючих машин.

Ключові слова: барабан; тертя; опір; підшипник; ККД – коефіцієнт корисної дії

V. M. BOHOMAZ^{1*}, L. M. BONDARENKO^{2*}, O. V. BOHOMAZ³, M. G. BRYLYOVA⁴

^{1*}Dep. «Military Training of Specialists of the State Special Service of Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 19 09, e-mail wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

^{2*}Dep. «Applied Mechanics and Material Science», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail bondarenko-l-m2015@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2212-3058

³Dep. «Applied Mechanics and Material Science», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail o.bogomas@gmail.com ORCID 0000-0002-6400-3230

⁴Dep. «Applied Mechanics and Material Science», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail mary.brilewa@yandex.ru ORCID 0000-0001-6331-0880

EFFECT OF RESISTANCE TO ROLLING ON THE DYNAMICS OF THE LIFTING MECHANISMS OF THE TRANSPORTING MACHINES

Purpose. Coefficient of rolling friction in bearings determines the amount of resistance to rotation of rope drums of the lifting mechanisms of transporting machines, which affects the value of the efficiency of such machines and their dynamics accordingly. To clarify the values of the efficiency and the speed of cargo, it is necessary to determine analytically the amount of rolling friction coefficient for the ball bearings of the lifting mechanism drum, reduced to a pin, and also to evaluate its influence on the dynamics of such a mechanism. **Methodology.** In the paper, dependences are given for determining the coefficient of resistance of the ball bearing of the cable drum of the lifting mechanism when it is rotated by both the inner and outer cages, as well as the design schemes of the bearing and drum. **Findings.** According to the results of research the dependences for definition of cargo movement speed and efficiency of the lifting mechanism of transporting cars with the specified value of movement resistance coefficient are presented. The corresponding graphical dependencies for a concrete example are constructed. Analysis of the obtained dependencies and graphs allows us to draw the following conclusions: 1) the rate of lowering the load de-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

depends on the position of the rope along the length of the drum, decreasing as it approaches its middle; 2) the coefficient of friction of the bearings of the drum reduced to the pin increases as the rope approaches the middle of the drum; 3) the efficiency of the rope drum depends on the position of the rope on the drum, decreasing as the rope approaches the middle of the drum; 4) the efficiency of the bearing depends on whether the holder rotates: internal or external, and the difference depends on both the load on the bearing and the lubricant, reaching more than 3% in its absence and 2% - with liquid lubrication. **Originality.** The authors obtained more accurate dependences of the lifting speed of the load and the efficiency of the lifting mechanisms, using, in this case, the dependences determined by the drag coefficient in the drum bearings. **Practical value.** The obtained values of resistances can be used for refined calculations of the lifting mechanisms of transporting machines.

Key words: drum; friction; resistance; bearing; efficiency

REFERENCES

1. Bogomas, V. M., Brilyova, M. G., Bondarenko, L. M., & Glavatskiy, K. C. (2015). Vplyv koefitsiienta tertia kovzannia ta kuta obkhvatu kolodkoiu ta strichkoiu halmivnoho shkiva na rivnovahu vazhilnoi systemy. *Bulletin of National University of Water and Environmental Engineering. Technical Sciences*, 2, 120-125. (in Ukrainian)
2. Dovbnia, M. P. (2002). Teoretychne vyznachennia syly kovzannia pry kochenni. *Problems of Tribology*, 2, 103-106. (in Ukrainian)
3. Kovalskiy, B. S. (1986). Poteri na blokakh kanatnykh polispastov. *Construction and Road Building Machinery*, 8, 34-37. (in Russian)
4. Kozhevnikov, S. N. (1969). *Teoriya mashin i mekhanizmov*. Moscow: Mashinostroenie. (in Russian)
5. Boltenkova, O. M., Davydov, O. Y., Yegorov, V. G., & Ulshin, S. V. (2013). *Mekhanika. Soprotivlenie materialov (teoriya i praktika): Uchebnoe posobie*. Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies. (in Russian)
6. Gumerova, K. S., Petukhov, N. P., Kotlyar, V. M., & Sidorin, S. G. (2014). *Prikladnaya mekhanika: Uchebnoe posobie*. Kazan: Kazan National Research Technological University. (in Russian)
7. Gryaznov, B. A., Bukhtiyarov, V. K., Kakuevitskiy, V. A., Aronovich, D. A., & Nalimov, Y. S. (2013). *Primenenie i prochnost polimernykh materialov pri izgotovlenii i remonte mashin i oborudovaniya*. Kyiv: G. S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine. (in Russian)
8. Sinenko, Y. G., & Konishcheva, O. V. (2015). *Mekhanika: Uchebnoe posobie*. Krasnoyarsk: Izdatelstvo SFU. (in Russian)
9. Bohomaz, V. M., Bondarenko, L. M., Hlavatskiy, K. T., & Sokol, K. O. (2015). Method of the drive power determination of the mechanisms of the bridge crane movement considering the rolling friction. *Science and Transport Progress*, 5(59), 123-131. doi: 10.15802/stp2015/55335. (in Russian)
10. Aleksandrov, M. P., Gokhberg, M. M., Kovin, A. A., Kulkova, N. N., Mazover, I. S., Nevzorov, L. A., & ... Sokolov S. A. (1988). *Spravochnik po kranam* (Vol. 1-2). *Kharakteristiki i konstruktivnye skhemy kranov. Kranovye mekhanizmy, ikh detali i uzly. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya kranov* (Vol. 2). Moscow: Mashinostroenie. (in Russian)
11. Yakovlev, S. A., & Bondarenko, L. N. (2003). Sootnosheniya mezhdu pokazatelyami soprotivleniya kacheniyu i skolzheniyu v uzlakh mashin. *Girnuchi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini*, 62, 88-92. (in Russian)
12. Gao, A., Yun, Z., Zhidong, W., & Hao, L. (2017). A general friction model of discrete interactions for tendon actuated dexterous manipulators. *Journal of Mechanisms and Robotics*, 9(4), 041019. doi: 10.1115/1.4036719. (in English)
13. Makhkamov, K. K. (2017). Energy analysis of wear of sliding friction units. *Journal of Friction and Wear*, 38(2), 168-172. doi: 0.3103/s1068366617020143. (in English)
14. Rahaman, M. L., & Zhang, L. (2017). Size effect on friction and wear mechanisms of bulk metallic glass. *Wear*, 376-377, 1522-1527. doi: 10.1016/j.wear.2017.01.068. (in English)
15. Tabor D. (1955). The mechanism of rolling friction: The elastic range. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical. Physical and Engineering Sciences*, 229(1177), 198-220. doi: 10.1098/rspa.1955.0082. (in English)

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. С. В. Ракиш (Украина)

Поступила в редколлегию: 09.01.2018

Принята к печати: 03.04.2018

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463.65:621.863

О. В. ФОМІН^{1*}, М. І. ГОРБУНОВ², Н. С. КОЧЕШКОВА³, В. В. КОВАЛЕНКО⁴

^{1*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури і технологій, вул. Кирилівська, 9, Київ, Україна, 04071, тел. +38 (067) 813 97 88, ел. пошта fomin1985@ukr.net, ORCID 0000-0003-2387-9946

²Каф. «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, пр. Центральний, 59-а, Сєверодонецьк, Україна, 93400, тел. + 38 (095) 309 10 39, ел. пошта gorbunov0255@gmail.com, ORCID 0000-0002-8556-3392

³Каф. «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури і технологій, вул. Кирилівська, 9, Київ, Україна, 04071, тел. +38 (095) 272 36 82, ел. пошта tasha.kocheshkova@gmail.com, ORCID 0000-0003-1838-5167

⁴Каф. «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, пр. Центральний, 59-а, Сєверодонецьк, Україна, 93400, тел. +38 (095) 142 90 74, ел. пошта kkateryna@ukr.net, ORCID 0000-0003-1706-2710

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ОПИСАННЯ КОНСТРУКЦІЇ КРИШКИ ЛЮКА

Мета. Робота спрямована на створення структурно-функціонального аналізу існуючого виконання кришок люків напіввагонів і пошук можливих шляхів їх удосконалення та модернізації. **Методика.** Проведене дослідження, аналіз та узагальнення базуються на принципах морфологічного вивчення технічних систем і системного підходу та враховує результати відомих робіт із теми, власних розробок авторів, математичному обґрунтуванні та комп'ютерному моделюванні. При розрахунках складових рухомого складу використані сучасні нормативні та запропоновані методики. **Результати.** Системний підхід у створенні інноваційної кришки люка дозволив представити його конструкцію у вигляді ряду взаємопов'язаних і взаємодіючих підсистем та з максимальною повнотою врахувати основні фактори їх функціонування. Розроблено структурно-функціональну модель кришки люка напіввагона, яка показала, що полотно кришки люка є основним елементом, структурно-параметричні та функціональні властивості якого визначають відповідні характеристики інших вузлових та базових елементів її конструкції. Встановлено, що основні функції кришки люка розподіляються через складові елементи першого ієрархічного рівня (між вузлами): каркас є підсилюючим елементом полотна та базою для встановлення інших, окрім торсіонного, вузлів. Запропоновані теоретичні положення, методологічні основи та практичні засоби структурно-функціонального аналізу доцільно використовувати у пошуку шляхів оптимізації та для інших складових рухомого складу, а також об'єктів транспортного машинобудування. **Наукова новизна.** Запропоновано методологічні основи створення структурно-функціональної моделі кришки люка та результати її реалізації, які можуть бути використані при дослідженнях процесів їх функціонування, дослідженні роботи по сприйняттю та перерозподілу різних видів навантажень, таксономії, підвищення ступеня ідеальності, ідентифікації об'єктів, що розглядаються у процесах проектування, дослідження, ремонтів. **Практична значимість.** Базуючись на структурно-функціональному описанні, спроектовано інноваційний конструктив кришки люка, зокрема, безкаркасна модель із випуклою конструкцією полотна в сторону протидії маси вантажу, використання яких дозволить ефективно модернізувати вітчизняний парк напіввагонів.

Ключові слова: транспортна механіка; вантажні вагони; напіввагон; кришка люка; структурно-функціональне описання

Вступ

Важливою складовою виробничої інфраструктури країни є залізничний транспорт. Витрати на транспортування залізницями складають вагомую частку у собівартості більшості ресурсів та матеріальної продукції. При цьому більше ніж 70 % залізничних вантажів не потребують захисту від атмосферних опадів, тож їх перевозять у напіввагонах. Однак сучасний вітчизняний парк напіввагонів більше ніж на 90 % складається з фізично та морально застарілих зразків. Вищесказане обумовлює необхідність оновлення парку напіввагонів України моделями з поліпшеними техніко-економічними показниками [1, 9, 10, 17].

Перспективним напрямом створення зразків залізничної техніки нового покоління є розроблення їх інноваційних складових [5, 12–15, 18].

Як складову напіввагонів, що характеризується масовим попитом, можна виділити кришку люка [2, 4–6, 11]. Зазначене пояснюється важкістю умов її експлуатації – це корозійний та абразивний знос, удари під час падіння штучних вантажів, суттєве навантаження під час відкривання. На сучасному рівні розвитку науки й техніки для створення інноваційної конструкції кришки люка необхідно розробити і застосувати адаптивні методи проектування на основі системного підходу [3, 7, 18] з використанням сучасних напрацювань у галузі матеріалознавства [16, 17].

Особливістю сучасних методів проведення науково-дослідних та конструкторських робіт із удосконалення кришки люка є окремий розгляд її вузлів і деталей. Традиційний же підхід не дозволяє врахувати особливості взаємодії складових кришки люка між собою і дотичними елементами та, відповідно, зробити точний аналіз функціонування цих складових.

Мета

Метою роботи є проведення структурно-функціонального аналізу застосовуваного виконання кришок люків напіввагонів для пошуку можливих шляхів їх удосконалення та модернізації.

Методика

Упровадження принципів системного підходу для створення інноваційної кришки люка

дозволяє подати конструкцію у вигляді ряду взаємопов'язаних і взаємодіючих підсистем, які являють собою сукупність складових, виокремлених у конструкції, а також із максимально повнотою врахувати основні фактори їх функціонування. Серед останніх слід розрізняти характеристики матеріалу, що враховують міцність, пружність і пластичність, корозійну стійкість, зварюваність та інші технологічні вимоги, у тому числі енерговитрати, особливості технології виготовлення та ремонту тощо, експлуатаційні умови та конструктивні властивості, а також деградацію цих параметрів із часом експлуатації.

Вирішення окресленої проблеми можливе шляхом створення структурно-функціонального описання (СФО) кришок люків. Цей метод полягає у відображенні взаємозв'язків основних елементів (блоків) конструкції та функцій, які вони виконують [3, 7, 8]. Це дозволяє формалізувати (розширити) описання характеристик функціонування кришок розвантажувальних люків та їх відповідних підсистем під час пошуку нових технічних рішень та виконань. Однак аналіз чисельної, відповідно до профілю досліджуваного питання, науково-технічної та довідкової літератури засвідчив відсутність інформації з проведення таких робіт.

Вирішення зазначеного складного науково-технічного завдання обумовлює необхідність розв'язання ряду задач, серед яких можна виділити: створення структурного описання, визначення функцій блоків/вузлів/деталей, відповідних особливих умов та обмежень, за яких будуть виконуватись функції. Запропоновано новий підхід до формалізації структурного описання конструкції кришки люка, заснований на використанні принципів ієрархічності й декомпозиції (блочності), та створено блочно-ієрархічне описання конструкцій універсальних напіввагонів. Використання принципу ієрархічності передбачає структурування опису конструкції кришки люка за ступенем детальності з виділенням окремих ієрархічних рівнів. Застосування принципу декомпозиції забезпечує розділення описів конструкції кришки люка на кожному ієрархічному рівні на ряд відповідних блоків (конструкційних модулів) із можливостями роздільного проектування та дослідження. Вищезазначені принципи в повній мірі віддзеркалюються

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

у блочно-ієрархічній моделі кришки люка, яку найчастіше подають у вигляді відповідної схеми, що є основою формалізованого описання її конструкції. Працездатність та доцільність застосування розробленої блочно-ієрархічної схеми підтверджується проведенням оптимізаційних робіт зі зниження матеріалоємності.

Результати

Під час розроблення структурно-функціонального описання кришок люків роботи виконуємо в три етапи. Перший етап включає проведення робіт зі структурно-функціонального описання кришок люків, яке передбачає виділення трьох ієрархічних рівнів. При цьому модуль кришки люка (V_{1131}) розглядаємо як елемент нульового рівня, на першому рівні розташовані основні блоки конструкції кришки люка, вузлові елементи якої належать до другого рівня, а елементи, які умовно не підлягають подальшому розділенню, складають деталі третього рівня (рис. 1).

На 1-му рівні кришка люка розділена на основні блоки: лист кришки люка (V_{11311}), каркас (V_{11312}), блок кріплення кришки люка до хребтової балки (V_{11313}), блок кріплення кришки люка до нижньої обв'язки напіввагона (V_{11314}), блок взаємокріплення та посилення (V_{11315}), блок кріплення торсійного пристрою (V_{11316}).

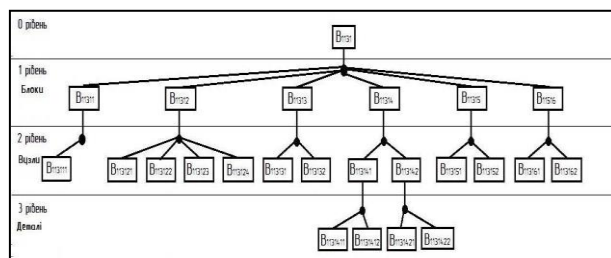


Рис. 1. Блочно-ієрархічна схема кришки люка напіввагона

Fig. 1. Block-hierarchical scheme of hatch cover of the gondola car

На 2-му рівні кожен із основних блоків розділений на вузли. Так, лист кришки люка (V_{11311}) має лише один вузол – полотно (V_{113111}). Каркас (V_{11312}) поділяється на: поздовжню передню обв'язку (V_{113121}), поздовжню середню обв'язку (V_{113122}), поздовжню задню обв'язку (V_{113123}) та поперечні бічні обв'язки (V_{113124}).

Блок кріплення кришки люка до хребтової балки (V_{11313}) має такі вузли: петлі (V_{113131}) та заклепки (V_{113132}). Блок кріплення кришки люка до нижньої обв'язки напіввагона (V_{11314}) поділяється на правий кронштейн (V_{113141}) та лівий кронштейн (V_{113142}). Блок взаємокріплення та посилення (V_{11315}) містить посилювальну накладку (V_{113151}) та з'єднувальну-посилювальну косинку (V_{113152}). Блок кріплення торсійного пристрою (V_{11316}) складається із задньої (V_{113161}) та передньої планки (V_{113162}).

На 3-му рівні «Деталі» правий кронштейн (V_{113141}) поділяється на кутик ($V_{1131411}$) та скобу ($V_{1131412}$) правого виконання, а лівий кронштейн (V_{113142}) – на кутик ($V_{1131421}$) та скобу ($V_{1131422}$) лівого виконання.

На другому етапі визначаємо функції кожної з виділених підсистем. Для цього доцільно використовувати наступне описання:

$$F = (D, G, H), \quad (1)$$

де D – дія, яку виконує кришка люка (або її підсистемна складова), що приводить до бажаного результату; G – об'єкт, на який направлена дія D ; H – особливі умови й обмеження, за яких виконується дія D .

Для розроблення структурно-функціонального описання доцільно застосовувати принципи блочності та ієрархічності, відповідно до них першочергово визначають головні функції кришки люка, що є блоком верхнього (нульового) рівня ієрархічної структури. Після визначення головних функцій кришки люка визначаємо головні корисні й допоміжні супутні функції блоків (перший ієрархічний рівень), які забезпечують виконання головних функцій кришки люка. У подальшому кожен елемент першого ієрархічного рівня розглядаємо як самостійну технічну систему, що дозволяє виділити конструкційні елементи другого рівня та їх головні корисні й допоміжні супутні функції, які забезпечують функціонування елементів першого рівня. Аналогічно проводимо поділ на функціональні елементи складові другого та третього ієрархічних рівнів. Обмеження розглядаємо відповідно до ієрархії рівнів, тобто обмеження для загальної конструкції висувають вимоги до складових модулів, які, у свою чергу, обумовлюють обмеження складових. Узагальнено в якості основних обмежень можна виділити такі:

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

масові вимоги, геометричні/просторові/формові обмеження, обмеження з енерговитрат, технологічного характеру, уніфікації в ремонті та виготовленні, поверхневої обробки та інші.

На третьому, завершальному, етапі будуюмо блочно-ієрархічну модель кришки люка функціональної взаємодії між складовими.

Блоки/вузли/деталі кришки люка зазвичай виконують декілька функцій ($k > 1$). У таких випадках функції позначені для першого, другого та третього рівня відповідно через: $F^1_{1x} \dots F^k_{1x}$; $F^1_{1xn} \dots F^k_{1xn}$; $F^1_{1xnl} \dots F^k_{1xnl}$ і $F^1_{1xnlm} \dots F^k_{1xnlm}$, де k змінюється залежно від кількості функцій складового елемента.

З точки зору розгляду конструкції кришки люка як складової блока загальної конструкції напіввагона її функціональне призначення можна охарактеризувати наступним чином.

Кришки люків у загальній сукупності (зазвичай 14 одиниць) утворюють у закритому положенні підлогу вагона. Їх монтують на рамі вагона за допомогою петель, у закритому положенні вони фіксуються на нижній обв'язці стін боковими закидками та секторами, а у відкритому положенні спираються на упори проміжних балок. Для полегшення закривання кришки люка після вивантаження на вагоні встановлений торсіонний механізм. У закритому положенні верхня поверхня кришки люка контактує, окрім відповідних елементів хребтової балки та нижньої обв'язки, із сусідніми проміжними балками, утворюючи герметичний настил підлоги.

З урахуванням загального призначення та конструкційних властивостей можна виділити в якості основних функцій кришки люка наступні:

- утворення підлоги вагона з достатнім рівнем герметичності;
- сприйняття без залишкових деформацій експлуатаційних навантажень, до яких можна віднести навантаження насипним, навалочним або штучним вантажем; сприйняття статичних і динамічних навантажень від дії зусиль, які виникають у ході експлуатації; навантаження під час вивантаження (дія вантажу на кришку люка, удари в момент відкривання об упори);
- достатній рівень ремонтпридатності, простота конструкції (простота у виготовленні, ремонті, встановленні на вагон, закриванні та відкриванні).

Беручи до уваги все вищезазначене, під час побудови структурно-функціонального описання кришки люка було виділено I-дерево конструкції кришки люка та наступні дотичні до неї складові напіввагона:

- вузол кріплення кришки люка до хребтової балки (державки кришки люка) – V_{112162} ;
- засоби закривання кришки люка та її фіксації – V_{11115} ;
- вузол допомоги під час закривання – V_{1132} , скоба під ломик – V_{11214} ;
- вантаж – G_2 ;
- бокові дотичні поверхні в закритому положенні (верхні частини проміжних балок рами) – $V_{112(2-4)2}$;
- передні дотичні поверхні в закритому положенні (нижня обв'язка – кутик 150) – V_{11212} ;
- задні дотичні поверхні в закритому положенні (балки, двотавр № 19) – V_{11261} ;
- вузол упирання кришки люка на раму під час розвантаження (упори проміжних балок) – $V_{112(2-4)4}$.

Зазначена конструкція кришки люка була обрана як найбільш поширена на сьогодні у конструктивно-технологічному виконанні (заклепкове кріплення петель, полотно з гофрованого листа і т. д.).

Проведений аналіз (рис. 2) показав, що кришка люка взаємодіє (впливає та зазнає зворотнього впливу) із такими складовими: вузол кріплення кришки люка до хребтової балки (V_{112162}); засоби закривання кришки люка та її фіксації (V_{11115}); вузол допомоги під час закривання (V_{1132}), скоба під ломик (V_{11214}); вантаж (G_2); бокові дотичні поверхні в закритому положенні ($V_{112(2-4)2}$); передні дотичні поверхні в закритому положенні (V_{11212}); задні дотичні поверхні в закритому положенні (V_{11261}); вузол упирання кришки люка на раму під час розвантаження ($V_{112(2-4)4}$).

До того ж основні функції кришки люка розподіляються через складові елементи першого ієрархічного рівня (між вузлами): каркас є підсилювальним елементом полотна та базою для встановлення інших, окрім торсіонного, вузлів. Його основні функції знаходяться на внутрішньорівневому (1-й рівень) полі та додатково він наділений функцією упирання кришки люка на упори під час відкривання.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

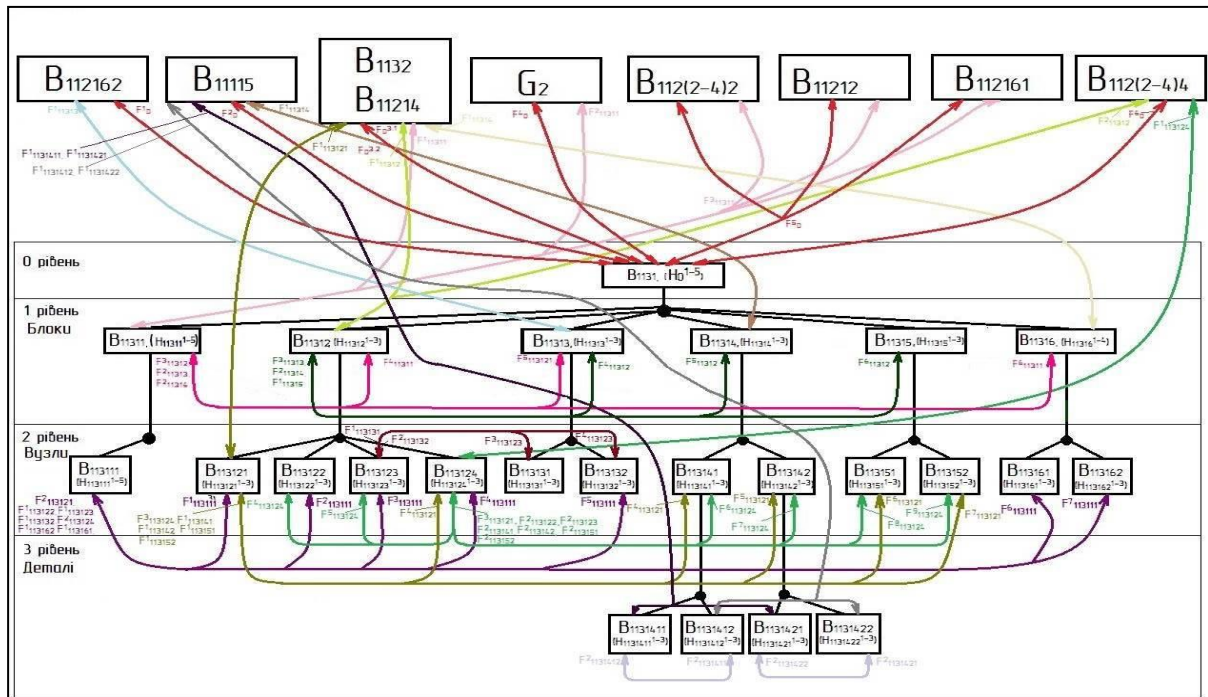


Рис. 2. Структурно-функціональна модель кришки люка напіввагона

Fig. 2. Structural-functional model of the hatch cover of the gondola car

Визначені взаємодіючі функції полотна та їх кількість характеризують каркас як основний елемент кришки люка, структурно-параметричні та функціональні властивості якого визначають відносні характеристики (форма, принцип дії, матеріал тощо) інших вузлових та базових елементів конструкції. Також на користь сказаного свідчить інтенсивність взаємозв'язків полотна B_{11311} як елемента 2-го рівня.

З метою скорочення схематичних зв'язків та врахування ідентичних взаємодій із зовнішніми (окрім кришки люка) елементами схеми з блоком B_{11311} полотно на 2-му рівні має тільки внутрішньорівневі зв'язки.

Розроблена структурно-функціональна модель дозволяє використовувати для створення сучасних кришок люків відомі методи проектування і конструювання. Окрім того, запропоноване описання доцільно використовувати як основу для отримання нових технічних рішень, спрямованих на розробку кришок люків нового покоління.

У табл. 1 наведені функції F базових елементів кришки люка з урахуванням особливих умов H .

Таблиця 1

Аналіз функцій кришки люка напіввагона

Table 1

Function analysis of the hatch cover of the gondola car

№ з/п	Кришка люка чи блок/вузол/деталь її конструкції: об'єкт, на який спрямована дія елемента	Функції кришки люка/блока/вузла/деталі з урахуванням особливих умов і обмежень H
1	B_{1131} – кришка люка; B_{112162} – вузол кріплення кришки люка до хребтової балки; B_{11115} – засоби закривання кришки люка та її фіксації; B_{1132} – вузол допомоги під час закривання;	F_0^1 – кріплення та взаємодія після сприйняття експлуатаційних навантажень через B_{112162} до загального силового каркаса напіввагона; F_0^2 – надійна фіксація та запобігання саморозкриванню кришки люка з B_{11115} та взаємодія після сприйняття експлуатаційних навантажень;

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Продовження табл. 1
Continuation of the Table 1

№ з/п	Кришка люка чи блок/вузол/деталь її конструкції: об'єкт, на який спрямована дія елемента	Функції кришки люка/блока/вузла/деталі з урахуванням особливих умов і обмежень H
	V_{11214} – скоба під ломик; G_2 – вантаж; $V_{112(2-4)2}$ – бокові дотичні поверхні в закритому положенні; V_{11212} – передні дотичні поверхні в закритому положенні; V_{11261} – задні дотичні поверхні в закритому положенні; $V_{112(2-4)4}$ – вузол упирання кришки люка на раму під час розвантаження	$F_0^{3.1}$ – взаємодія з V_{1132} після підняття кришки люка на відповідну висоту без залучення додаткових механізмів; $F_0^{3.2}$ – взаємодія з V_{11214} після підтягування кришки люка до рівня фіксації; F_0^4 – взаємодія з вантажем G_2 , що включає навантаження, які виникають під час завантаження (у тому числі великорозмірним вантажем), навантаження під час перевезень та навантаження під час вивантаження (у тому числі вантажів абразивного типу): – виконання функції підлоги шляхом взаємодії з $V_{112(2-4)2}$, V_{11212} , V_{11261} за умови забезпечення герметичності на достатньому рівні під час перевезення вантажів (у тому числі насипних); – взаємодія з елементом $V_{112(2-4)4}$ після прийняття навантажень динамічного та статичного характеру, які виникають під час вивантаження. В якості основних умов роботи кришки люка можна виділити такі: – прийняття експлуатаційних навантажень без залишкових деформацій; – формування герметичної поверхні; – корозійна стійкість; – абразивна стійкість; – технологічність виготовлення та ремонтів

Продовження табл. 1
Continuation of the Table 1

№ з/п	Кришка люка чи блок/вузол/деталь її конструкції: об'єкт, на який спрямована дія елемента	Функції кришки люка/блока/вузла/деталі з урахуванням особливих умов і обмежень H
2	V_{11311} – лист кришки люка; V_{1132} – вузол допомоги під час закривання; G_2 – вантаж; $V_{112(2-4)2}$ – бокові дотичні поверхні в закритому положенні; V_{11212} – передні дотичні поверхні в закритому положенні; V_{11261} – задні дотичні поверхні в закритому положенні; V_{11312} – каркас; V_{11313} – вузол кріплення кришки люка до хребтової балки; V_{11316} – вузол кріплення одного або декількох торсіонів	$F_{11311}^1 = F_0^{3.1}$; $F_{11311}^2 = F_0^4$; $F_{11311}^3 = F_0^5$; F_{11311}^4 – взаємодія з V_{11212} після прийняття та перерозподілу експлуатаційних навантажень; F_{11311}^5 – взаємодія з V_{11313} та прийняття відповідних експлуатаційних навантажень; F_{11311}^6 – взаємодія з V_{11216} після прийняття відповідних навантажень (у закритому та відкритому положенні, під час відкривань та закривань) У разі виконання відповідних умов: $H_{11311}^{1-5} = H_0^{1-5}$
3	V_{11312} – каркас; V_{11214} – скоба під ломик; $V_{112(2-4)4}$ – вузол упирання кришки люка на раму під час розвантаження; V_{11311} – лист кришки люка; V_{11313} – вузол кріплення кришки люка до хребтової балки;	$F_{11312}^1 = F_0^{3.2}$; $F_{11312}^2 = F_0^6$; $F_{11312}^3 = F_{11311}^4$; F_{11312}^4 – взаємодія з V_{11313} та прийняття відповідних експлуатаційних навантажень; F_{11312}^5 – розташування та взаємодія з V_{11314} та прийняття відповідних експлуатаційних навантажень;

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Продовження табл. 1
Continuation of the Table 1

№ з/п	Кришка люка чи блок/вузол/деталь її конструкції: об'єкт, на який спрямована дія елемента	Функції кришки люка/блока/вузла/деталі з урахуванням особливих умов і обмежень H
3	V_{11314} – вузол кріплення кришки люка до нижньої обв'язки; V_{11315} – вузол взаємокріплення та посилення	F_{11312}^6 – взаємодія з V_{11315} після сприйняття відповідних експлуатаційних навантажень У разі виконання відповідних умов: $H_{11312}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
4	V_{11313} – вузол кріплення кришки люка до хребтової балки; V_{112162} – вузол кріплення кришки люка до хребтової балки; V_{11311} – лист кришки люка; V_{11312} – каркас	$F_{11313}^1 = F_0^1$; $F_{11313}^2 = F_{11311}^5$; $F_{11313}^1 = F_{11312}^4$ У разі виконання відповідних умов: $H_{11313}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
5	V_{11314} – вузол кріплення кришки люка до нижньої обв'язки; V_{11115} – засоби закривання кришки люка та її фіксації; V_{11312} – каркас	$F_{11314}^1 = F_0^2$; $F_{11314}^2 = F_{11312}^5$ У разі виконання відповідних умов: $H_{11314}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
6	V_{11315} – вузол взаємокріплення та посилення; V_{11312} – каркас	$F_{11315}^1 = F_{11313}^6$ У разі виконання відповідних умов: $H_{11315}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
7	V_{11316} – вузол кріплення одного або декількох торсіонів; V_{1132} – вузол допомоги при закриванні;	$F_{11316}^1 = F_0^{3,1}$; $F_{11316}^2 = F_{11311}^6$ У разі виконання відповідних умов: $H_{11316}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$

Продовження табл. 1
Continuation of the Table 1

№ з/п	Кришка люка чи блок/вузол/деталь її конструкції: об'єкт, на який спрямована дія елемента	Функції кришки люка/блока/вузла/деталі з урахуванням особливих умов і обмежень H
7	V_{11311} – лист кришки люка	H_{11316}^4 – можливість накопичення та вивільнення у певних обставинах потенційної енергії
8	V_{113111} – полотно; V_{113121} – передня обв'язка; V_{113122} – середня обв'язка; V_{113123} – задня обв'язка; V_{113124} – бічні обв'язки; V_{113132} – заклепки; V_{113161} – задня планка; V_{113162} – передня планка	F_{113111}^{1-4} – взаємодія відповідно з V_{113124} , V_{113123} , V_{113122} , V_{113121} після сприйняття експлуатаційних навантажень; $F_{113111}^5 = F_{11311}^5$; $F_{113111}^6 = F_{11311}^6$; $F_{113111}^7 = F_{11311}^6$ У разі виконання відповідних умов: $H_{113111}^{1-5} = H_0^{1-5}$; $H_{113111}^6 = H_{11316}^4$
9	V_{113121} – передня обв'язка; V_{11214} – скоба під ломик; V_{113111} – полотно; V_{113124} – бічні обв'язки; V_{113141} – правий кронштейн; V_{113142} – лівий кронштейн; V_{113151} – наклад-ка; V_{113152} – косинка	$F_{113121}^1 = F_0^{3,2}$; $F_{113121}^2 = F_{113111}^1$ F_{113121}^3 – взаємодія з V_{113124} після сприйняття експлуатаційних навантажень; F_{113121}^{4-7} – взаємодія з V_{113141} , V_{113142} , V_{113151} , V_{113152} після сприйняття відповідних експлуатаційних навантажень
10	V_{113122} – середня обв'язка; V_{113111} – полотно; V_{113124} – бічні обв'язки	$F_{113122}^1 = F_{113111}^2$ F_{113122}^2 – взаємодія з V_{113124} після сприйняття відповідних експлуатаційних навантажень

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Продовження табл. 1
Continuation of the Table 1

№ з/п	Кришка люка чи блок/вузол/деталь її конструкції: об'єкт, на який спрямована дія елемента	Функції кришки люка/блока/вузла/деталі з урахуванням особливих умов і обмежень H
		У разі виконання відповідних умов: $H_{113122}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
11	V_{113123} – задня обв'язка; V_{113111} – полотно; V_{113124} – бічні обв'язки; V_{113131} – петлі; V_{113132} – заклепки	$F_{113123}^1 = F_{113111}^3$ F_{113123}^2 – взаємодія з V_{113124} після сприйняття відповідних експлуатаційних навантажень; F_{113123}^3 – взаємодія з V_{113131} після сприйняття відповідних експлуатаційних навантажень; F_{113123}^4 – взаємодія з V_{113132} після сприйняття навантажень, що передаються від петель У разі виконання відповідних умов: $H_{113123}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
12	V_{113124} – бічні обв'язки; $V_{112(2-4)4}$ – вузол упирання кришки люка на раму під час розвантаження; V_{113111} – полотно; V_{113121} – передня обв'язка; V_{113122} – середня обв'язка; V_{113123} – задня обв'язка; V_{113141} – правий кронштейн; V_{113142} – лівий кронштейн; V_{113151} – наклад-ка; V_{113152} – косинка	$F_{113124}^1 = F_0^6$; $F_{113124}^2 = F_{113111}^4$; $F_{113124}^3 = F_{113122}^2$; $F_{113124}^4 = F_{113121}^3$; $F_{113124}^5 = F_{113123}^2$; F_{113124}^{6-7} – взаємодія з V_{113141}, V_{113142} після сприйняття відповідних експлуатаційних навантажень у закритому положенні F_{113124}^{8-9} – взаємодія з V_{113151}, V_{113152} після сприйняття відповідних експлуатаційних навантажень У разі виконання відповідних умов:

Продовження табл. 1
Continuation of the Table 1

№ з/п	Кришка люка чи блок/вузол/деталь її конструкції: об'єкт, на який спрямована дія елемента	Функції кришки люка/блока/вузла/деталі з урахуванням особливих умов і обмежень H
		$H_{113124}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
13	V_{113131} – петлі; V_{113123} – задня обв'язка; V_{113132} – заклепки	$F_{113131}^1 = F_{113123}^3$ У разі виконання відповідних умов: $H_{113131}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
14	V_{113132} – заклепки; V_{113111} – полотно; V_{113123} – задня обв'язка; V_{113131} – петлі	$F_{113132}^1 = F_{113111}^5$; $F_{113132}^2 = F_{113123}^4$ У разі виконання відповідних умов: $H_{113132}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
15	V_{113141} – правий кронштейн; V_{113121} – передня обв'язка; V_{113124} – бічні обв'язки	$F_{113141}^1 = F_{113121}^4$; $F_{113141}^2 = F_{113124}^6$ У разі виконання відповідних умов: $H_{113141}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
16	V_{113142} – лівий кронштейн; V_{113121} – передня обв'язка; V_{113124} – бічні обв'язки	$F_{113142}^1 = F_{113121}^5$; $F_{113142}^2 = F_{113124}^7$ У разі виконання відповідних умов: $H_{113142}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
17	V_{113151} – наклад-ка; V_{113121} – передня обв'язка; V_{113124} – бічні обв'язки	$F_{113151}^1 = F_{113121}^6$; $F_{113152}^2 = F_{113124}^8$ У разі виконання відповідних умов: $H_{113151}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
18	V_{113152} – косинка; V_{113121} – передня обв'язка;	$F_{113152}^1 = F_{113121}^7$; $F_{113152}^2 = F_{113124}^9$

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Продовження табл. 1
Continuation of the Table 1

№ з/п	Кришка люка чи блок/вузол/деталь її конструкції: об'єкт, на який спрямована дія елемента	Функції кришки люка/блока/вузла/деталі з урахуванням особливих умов і обмежень H
	B_{113124} – бічні обв'язки	У разі виконання відповідних умов: $H_{113142}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
19	B_{113161} – задня планка; B_{113111} – полотно	$F_{113161}^1 = F_{11311}^6$ У разі виконання відповідних умов: $H_{113161}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$, $H_{113161}^4 = H_{11316}^4$
20	B_{113162} – передня планка; B_{113111} – полотно	$F_{113162}^1 = F_{11311}^6$ У разі виконання відповідних умов: $H_{113162}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$, $H_{113162}^4 = H_{11316}^4$
21	$B_{1131411}$ – кутик; B_{11115} – засоби закривання кришки люка та її фіксації; $B_{1131412}$ – скоба	$F_{1131411}^1$ – взаємодія з B_{11115} після сприйняття відповідних навантажень та фіксації у закритому положенні без додаткового устаткування; $F_{1131411}^2$ – взаємодія з $B_{1131412}$ для додаткового запобігання саморозкриванню кришки люка У разі виконання відповідних умов: $H_{1131411}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
22	$B_{1131412}$ – скоба; B_{11115} – засоби закривання кришки люка та її фіксації; $B_{1131411}$ – кутик	$F_{1131412}^1 = F_{1131411}^1$; $F_{1131412}^1 = F_{1131411}^2$ У разі виконання відповідних умов: $H_{1131412}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$

Закінчення табл. 1
End of the Table 1

№ з/п	Кришка люка чи блок/вузол/деталь її конструкції: об'єкт, на який спрямована дія елемента	Функції кришки люка/блока/вузла/деталі з урахуванням особливих умов і обмежень H
23	$B_{1131421}$ – кутик; B_{11115} – засоби закривання кришки люка та її фіксації; $B_{1131422}$ – скоба	$F_{1131421}^1 = F_{1131411}^1$; $F_{1131421}^2 = F_{1131411}^2$ У разі виконання відповідних умов: $H_{1131421}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$
24	$B_{1131422}$ – скоба; B_{11115} – засоби закривання кришки люка та її фіксації; $B_{1131421}$ – кутик	$F_{1131422}^1 = F_{1131411}^1$; $F_{1131422}^2 = F_{1131411}^2$ У разі виконання відповідних умов: $H_{1131422}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5$

Таким чином, подану структурно-функціональну модель кришки люка напіввагона доцільно використовувати під час застосування сучасних наукових та інженерних підходів, творчих і пошукових методів для дослідження наявних і створення перспективних зразків.

Отримана матриця суміжності конструкційних елементів (табл. 2) може бути використана під час проектування модернізованих вузлів кришок люків напіввагонів, із урахуванням характеристик функціонування, протікання робочих та динамічних процесів тощо.

Упровадження на практиці запропонованого СФО кришки розвантажувальних люків дозволило згенерувати інноваційні конструкції, в яких порівняно з базовою конструкцією іншим чином розподілені функції між складовими. Так, було спроектовано інноваційну конструкцію кришки люка, зокрема безкаркасну модель (рис. 3) та модель із випуклою конструкцією полотна в сторону протидії масі вантажу (рис. 4).

Таблиця 2

Матриця суміжності внутрішньорівневих функціональних зв'язків базових елементів кришки люка напіввагона

Table 2

Matrix of adjacency of intraverbal functional bonds of hatch cover basic elements of the gondola car

	V ₁₁₃₁₁	V ₁₁₃₁₂	V ₁₁₃₁₃	V ₁₁₃₁₄	V ₁₁₃₁₅	V ₁₁₃₁₆	V ₁₁₃₁₇	V ₁₁₃₁₈	V ₁₁₃₁₉	V ₁₁₃₂₀	V ₁₁₃₂₁	V ₁₁₃₂₂
V ₁₁₃₁₁	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1
V ₁₁₃₁₂	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0
V ₁₁₃₁₃	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
V ₁₁₃₁₄	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
V ₁₁₃₁₅	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0
V ₁₁₃₁₆	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
V ₁₁₃₁₇	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
V ₁₁₃₁₈	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
V ₁₁₃₁₉	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
V ₁₁₃₂₀	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
V ₁₁₃₂₁	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V ₁₁₃₂₂	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Наукова новизна та практична значимість

Розроблені просторові моделі зазначених видів кришок характеризуються високими показниками міцності та стійкості до деформацій.

Результати розрахунку на міцність сучасної базової конструкції кришки люка показують, що найбільші напруження виникають у місцях кріплення кришки люка до хребтової балки та нижньої обв'язки [5, 6, 8, 11]. Водночас напруження й переміщення у безкаркасному виконанні кришки люка та у моделі з вигнутим полотном показують суттєво кращі результати порівняно з базовою моделлю.

Висновки

Розробка структурно-функціонального описання кришки розвантажувальних люків напіввагонів дозволила:

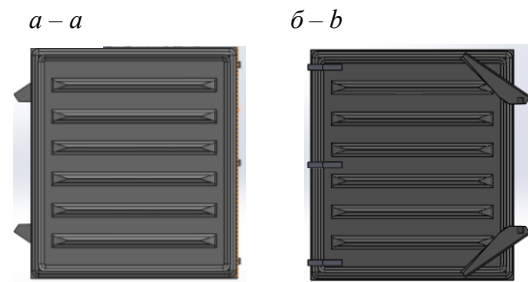


Рис. 3. Інноваційна безкаркасна кришка люка:
а – вид зверху, б – вид знизу

Fig. 3. Innovative frameless hatch cover:
a – top view, b – the bottom view

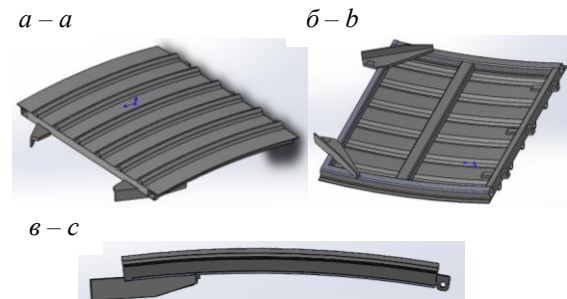


Рис. 4. Конструкція кришки люка з опуклим полотном:

а – вид зверху, б – вид знизу, в – вид збоку

Fig. 4. The design of the convex hatch cover:
a – top view, b – the bottom view, c – side view

1. Обґрунтувати наступне твердження: полотно кришки люка є основним елементом, структурно-параметричні та функціональні властивості якого визначають відповідні характеристики (форма, принцип дії, матеріал тощо) інших вузлових та базових елементів її конструкції. А каркас характеризується такою основною функцією, як силове підкріплення полотна, та є базою для розміщення вузлів кріплення кришки люка до хребтової балки, до нижньої обв'язки.

2. Встановити, що за умови включення основних функцій каркаса до полотна шляхом конструктивного вдосконалення можна створити безкаркасне виконання кришки люка. Таким чином, властивості кришки люка, окрім сприйняття без ушкоджень експлуатаційних навантажень, розширити пружно-демпфуючими влас-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

тивостями за рахунок використання мультимедіального підходу.

3. Запропонувати методологічні основи створення структурно-функціональної моделі кришки люка та результати її реалізації, які можуть бути використані у дослідженнях процесів функціонування (наприклад, для відповідного застосування теорії графів), дослідженні роботи зі сприйняття та перерозподілу різних видів навантажень, таксономії, підвищення ступеня їх ідеальності, ідентифікації об'єктів, які розглядають у процесах проектування, дослідження, ремонтів.

4. Рекомендувати використовувати запропоновану методику під час здійснення проектувальних та вартісно-оцінювальних робіт і для інших видів рухомого складу залізниць, а також засобів транспортного машинобудування.

Запропоновані теоретичні положення, методологічні основи та практичні засоби оптимізації вагонів та їх складових доцільно використовувати для вирішення аналогічних задач і для інших типів рухомого складу, а також об'єктів транспортного машинобудування. Окрім цього, цей методологічний підхід можна використовувати не лише під час проектування, але й для аналізу наявних рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бутко, Т. В. Формалізація технології організації групових поїздів оперативного призначення / Т. В. Бутко, А. В. Прохорченко, А. М. Киман // Вост.-Европ. журнал передових технологій. – 2015. – Т. 4, № 3 (76). – С. 38–43. doi: 10.15587/1729-4061.2015.47886.
2. Кебал, И. Ю. Совершенствование конструкции крышки люка полувагона / И. Ю. Кебал, С. С. Мямлин // Вагонный парк. – 2016. – № 7/8. – С. 41–43.
3. Кельріх, М. Б. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів / М. Б. Кельріх, В. І. Мороз, О. В. Фомін // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. Володимира Даля. – 2014. – № 2 (210). – С. 94–103.
4. Конструирование и расчет вагонов : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В. В. Лукин, Л. А. Шадур, В. Н. Котуранов, А. А. Хохлов, П. С. Анисимов ; под общ. ред. В. В. Лукина. – Москва : УМК МПС России, 2000. – 731 с.
5. Мороз, В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» / В. І. Мороз, В. В. Фомін, О. В. Фомін // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. заліз. трансп. – Харків, 2008. – Вип. 99. – С. 72–81.
6. Мямлин, С. В. Крышка люка универсального полувагона / С. В. Мямлин, Д. Н. Барановский, И. Ю. Кебал // Бюл. науч. работ Брянск. фил. МИИТ : сб. науч. работ / Моск. гос. ун-т путей сообщения, Брянск. фил. – Брянск, 2015. – Вып. 1 (7). – С. 45–48.
7. Половинкин, А. И. Основы инженерного творчества : учеб. пособие для студентов ВТУЗов / А. И. Половинкин. – Москва : Машиностроение, 1988. – 368 с.
8. Фомін, О. В. Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів в якості складових елементів несучих систем напіввагонів / О. В. Фомін // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 6 (54). – С. 146–153. doi: 10.15802/stp2014/33403.
9. Формирование автоматизированной системы расчета пропускной способности железнодорожных сетей для продвижения грузопотоков предприятий горно-металлургического комплекса / С. В. Панченко, Т. В. Бутко, А. В. Прохорченко, Л. А. Пархоменко // Наук. вісн. НГУ. – 2016. – № 2. – С. 93–99.
10. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie / S. Myamlin, L. P. Lingaitis, S. Dailydka, G. Vaičiūnas, M. Bogdevičius, G. Bureika // Transport. – 2015. – Vol. 30. – Iss. 1. – P. 88–92. doi: 10.3846/16484142.2015.1020565.
11. Fomin, O. V. Improvement of upper bunding of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O. V. Fomin // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Vol. 7, No. 1. – P. 45–48.
12. Impact of Wheelset Steering and Wheel Profile Geometry to the Vehicle Behavior when Passing Curved Track / V. Hauser, O. S. Nozhenko, K. O. Kravchenko, M. Loulová, J. Gerlici, T. Lack // Manufacturing Technology. – 2017. – Vol. 17, No. 3. – P. 306–312.
13. Lovska, A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision / A. Lovska, A. Ryibin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 3. – Iss. 7 (81). – P. 4–8. doi: 10.15587/1729-4061.2016.72054.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

14. Niezgoda, T. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software / T. Niezgoda, W. Krasoń, M. Stankiewicz // *Journal of KONES. Powertrain and Transport*. – 2015. – Vol. 19. – Iss. 4. – P. 495–502. doi: 10.5604/12314005.1138622.
15. Proposal of a Mechanism for Setting Bogie Wheelsets to Radial Position while Riding Along Track Curve / V. Hauser, O. S. Nozhenko, K. O. Kravchenko, M. Loulová, J. Gerlici, T. Lack // *Manufacturing Technology*. – 2017. – Vol. 17, No. 2. – P. 186–192.
16. Research into surface properties of disperses fillers based on plant raw materials / Yu. Danchenko, V. Andronov, A. Kariev, V. Lebedev, E. Rybka, R. Meleshchenko, D. Yavorska // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – Vol. 5. – Iss. 12 (89). – P. 20–26. doi: 10.15587/1729-4061.2017.111350.
17. Research of the intermolecular interactions and structure in epoxyamine composites with dispersed oxides / Yu. Danchenko, V. Andronov, E. Barabash, T. Obigenko, E. Rybka, R. Meleshchenko, A. Romin // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – Vol. 6. – Iss. 12 (90). – P. 4–12. doi: 10.15587/1729-4061.2017.118565.
18. Tartakovskyi, E. Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems / E. Tartakovskyi, O. Gorobchenko, A. Antonovych // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 5. – Iss. 3 (83). – P. 4–11. doi: 10.15587/1729-4061.2016.80198.

А. В. ФОМИН^{1*}, Н. И. ГОРБУНОВ², Н. С. КОЧЕШКОВА³, В. В. КОВАЛЕНКО⁴

^{1*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный университет инфраструктуры и технологий, ул. Кирилловская, 9, Киев, Украина, 04071, тел. +38 (067) 813 97 88, эл. почта fomin1985@ukr.net, ORCID 0000-0003-2387-9946

²Каф. «Железнодорожный, автомобильный транспорт и подъемно-транспортные машины», Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, пр-т Центральный, 59-а, Северодонецк, Украина, 93400, тел. + 38 (095) 309 10 39, эл. почта gorbunov0255@gmail.com, ORCID 0000-0002-8556-3392

³Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный университет инфраструктуры и технологий, ул. Кирилловская, 9, Киев, Украина, 04071, тел. +38 (095) 272 36 82, эл. почта tasha.kocheshkova@gmail.com, ORCID 0000-0003-1838-5167

⁴Каф. «Железнодорожный, автомобильный транспорт и подъемно-транспортные машины», Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, пр-т Центральный, 59-а, Северодонецк, Украина, 93400, тел. +38 (095) 142 90 74, эл. почта kkaterina@ukr.net, ORCID 0000-0003-1706-2710

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КРЫШКИ ЛЮКА

Цель. Работа направлена на создание структурно-функционального анализа существующего выполнения крышек люков полувагонов для поиска возможных путей их модернизации и усовершенствования. **Методика.** Проведенные исследования и анализ базируются на принципах морфологического изучения технических систем и системного подхода с учетом результатов ведущих исследований по теме, собственных разработок авторов, математическом обосновании и компьютерном моделировании. Расчет конструктивных элементов подвижного состава проведен с помощью современных нормативных и разработанных методик. **Результаты.** Системный подход при создании инновационной крышки люка позволил представить конструкцию в виде ряда взаимосвязанных и взаимодействующих подсистем, с учетом основных факторов их функционирования. Разработана структурно-функциональная модель крышки люка полувагона, которая показала, что полотно крышки люка есть основным элементом, структурно-параметрические и функциональные свойства которого определяют соответствующие характеристики других узловых и базовых элементов ее конструкции. Установлено, что основные функции крышки люка распределяются через составляющие элементы первого иерархического уровня (между узлами): каркас служит усиливающим элементом полотна и базой для установки других, кроме торсионных, узлов. Предложенные теоретические положения, методологические основы и практические методы структурно-функционального анализа целесообразно использовать при поиске путей оптимизации и других элементов подвижного состава, а также объектов транспортного машиностроения. **Научная новизна.** Предложены методологические основы создания структурно-функционального описания крышки люка и представлены результаты ее реализации, которые могут быть использованы в исследованиях процессов функционирования, восприятия и перераспределения разных видов нагрузок, таксономии, повышения степени их идеальности, идентификации объектов, рассматриваемых в процессах проектирования, исследования, ремонта. **Практическая значимость.** Структурно-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

функциональное описание позволило спроектировать инновационный конструктив крышки люка, в том числе бескаркасное ее выполнение, модель с выпуклой конструкцией полотна в сторону противодействия массе груза. С помощью предложенных моделей крышек разгрузочных люков возможна эффективная модернизация отечественного парка полувагонов.

Ключевые слова: транспортная механика; грузовые вагоны; полувагон; крышка люка; структурно-функциональное описание

O. V. FOMIN^{1*}, M. I. GORBUNOV², N. S. KOCHESHKOVA³, V. V. KOVALENKO⁴

^{1*}Dep. «Cars and Carriage Facilities», State Economy and Technology University of Transport, I. Ogiienka St., 19, Kyiv, Ukraine, 03049, tel. +38 (067) 813 97 88, e-mail fomin1985@list.ru, ORCID 0000-0003-2387-9946

²Dep. «Railway, Road Transport and Handling Machines», East Ukrainian Volodymyr Dahl National University, Central Av., 59-a, Sievierodonetsk, Ukraine, 93400, tel. + 38 (095) 309 10 39, e-mail gorbunov0255@gmail.com, ORCID 0000-0002-8556-3392

³Dep. «Cars and Carriage Facilities», State Economy and Technology University of Transport, Ogiienka St., 19, Kyiv, Ukraine, 03049, tel. +38 (095) 272 36 82, e-mail tasha.kocheshkova@gmail.com, ORCID 0000-0003-1838-5167

⁴Dep. «Railway, Road Transport and Handling Machines», East Ukrainian Volodymyr Dahl National University, Central Av., 59-a, Sievierodonetsk, Ukraine, 93400, tel. +38 (095) 142 90 74, e-mail kkaterina@ukr.net, ORCID 0000-0003-1706-2710

STRUCTURAL-FUNCTIONAL DESCRIPTION OF THE HATCH COVER CONSTRUCTION

Purpose. The work aims at structural-functional description of the existing construction of hatch covers of gondola cars to find possible ways of their modernization and improvement. **Methodology.** The research and analysis are based on principles of morphological study of technical systems and systems approach. The research takes into account the results of the leading research on the topic, the authors' own development, mathematical justification and computer modeling. Calculation of the structural elements of the rolling stock was carried using modern normative and developed methodologies. **Findings.** The system approach in creating an innovative hatch cover allowed the design to be presented in the form of a series of interconnected and interacting subsystems, taking into account the main factors of their functioning. Authors developed the structural-functional model of the hatch cover of the gondola car, which showed that the hatch cover plate is the basic element, the structural-parametric and functional properties of which determine the corresponding characteristics of other nodal and base elements of its design. We established that the main functions of the hatch cover are distributed through the constituent elements of the first hierarchical level (between nodes): the frame serves as the reinforcing element of the plate and the base for installing other nodes, except the torsion ones. The proposed theoretical propositions, methodological foundations and practical methods of structural and functional analysis are expedient for using in the search for optimization ways and other elements of rolling stock, as well as objects of transport engineering. **Originality.** The methodological foundations for the creation of a structural and functional description of the hatch cover are proposed and the results of its implementation are presented, which can be used in studies of the processes of their functioning, perception and redistribution of different types of loads, taxonomy, increasing the degree of their ideality, identification of objects considered in design, repair. **Practical value.** The structural-functional description allowed projecting an innovative design of the hatch cover, including its frameless execution, a model with a convex design of the plate in the direction of counteracting the mass of the cargo. Using the proposed models of hatch covers, effective modernization of the domestic park of gondola cars is possible.

Keywords: transport mechanics; freight cars; gondola; hatch covers; structural-functional description

REFERENCES

1. Butko, T. V., Prokhorchenko, A. V., & Kyman, A. M. (2015). Formalization of the technology of arranging tactical group trains. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4,3(76), 38-43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.47886>. (in Ukrainian)
2. Keбал, I. Y., & Myamlin, S. S. (2016). Sovershenstvovanie konstruktssii kryshki lyuka poluvagona. *Car Fleet*, 7/8, 41-43. (in Russian)
3. Kelrikh, M. B., Moroz, V. I., & Fomin, O. V. (2014). Struktarno-funktsionalne opysannia konstruktssii modulua kuzova suchasnykh universalnykh napivvagoniv. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 2(210), 94-103. (in Ukrainian)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

4. Lukin, V. V., Shadur, L. A., Koturanov, V. N., Khokhlov, A. A., & Anisimov, P. S. (2000). *Konstruirovaniye i raschet vagonov: Uchebnik dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta*. Moscow: UMK MPS Rossii. (in Russian)
5. Moroz, V. I., Fomin, V. V., & Fomyn, O. V. (2008). Vyznachennia perspektivnykh napriamkiv udoskonalennia konstrukttsii napivvagoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvagon». *Collected Scientific Works of Ukrainian State University of Railway Transport*, 99, 72-81. (in Ukrainian)
6. Myamlin, S. V., Baranovskiy, D. M., Kebal, I. Y. (2015). Manhole cover of universal gondola car. *Bulleten nauchnykh robot Bryanskogo filiala MIIT*, 1(7), 45-48. (in Russian)
7. Polovinkin, A. I. (1988). *Osnovy inzhenerenogo tvorchestva: Uchebnoe posobie dlya studentov VTUZov*. Moscow: Mashinostroenie. (in Russian)
8. Fomin, O. V. (2014). Applicability analysis of hexahedral hollow profiles as component elements of supporting systems for gondola cars. *Science and Transport Progress*, 6(54), 146-153. doi: 10.15802/stp2014/33403. (in Ukrainian)
9. Panchenko, S. V., Butko, T. V., Prokhorchenko, A. V., & Parkhomenko, L. O. (2016). Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2, 93-99. (in English)
10. Myamlin, S., Lingaitis, L. P., Dailydka, S., Vaičiūnas, G., Bogdevičius, M., & Bureika, G. (2015). Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. *Transport*, 30(1), 88-92. doi: 10.3846/16484142.2015.1020565. (in English)
11. Fomin, O. V. (2015). Improvement of upper bunding of side wall of gondola cars of 12-9745 model. *Metallurgical and Mining Industry*, 7(1), 45-48. (in English)
12. Hauser, V., Nozhenko, O. S., Kravchenko, K. O., Loulová, M., Gerlici, J., & Lack, T. (2017). Impact of wheelset steering and wheel profile geometry to the vehicle behavior when passing curved track. *Manufacturing Technology*, 17(3), 306-312. (in English)
13. Lovska, A., & Ryibin, A. (2016). The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/7(81), 4-8. doi: 10.15587/1729-4061.2016.72054. (in English)
14. Niezgoda, T., Krasoń, W., & Stankiewicz, M. (2015). Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software. *Journal of KONES. Powertrain and Transport*, 19(4), 495-502. doi: 10.5604/12314005.1138622. (in English)
15. Hauser, V., Nozhenko, O. S., Kravchenko, K. O., Loulová, M., Gerlici, J., & Lack, T. (2017). Proposal of a Mechanism for Setting Bogie Wheelsets to Radisl Position while Riding Along Track Curve. *Manufacturing Technology*, 17(2), 186-192. (in English)
16. Danchenko, Y., Andronov, V., Kariev, A., Lebedev, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., & Yavorska, D. (2017). Research into surface properties of disperses fillers based on plant raw materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/12(89), 20-26. doi: 10.15587/1729-4061.2017.111350. (in English)
17. Danchenko, Y., Andronov, V., Barabash, E., Obigenko, T., Rybka, E., Meleshenko, R., & Romin, A. (2017). Research of the intermolecular interactions and structure in epoxyamine composites with dispersed oxides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/12(90), 4-12. doi: 10.15587/1729-4061.2017.118565. (in English)
18. Tartakovskiy, E., Gorobchenko, O., & Antonovych, A. (2016). Antonovych Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/3(83), 4-11. doi: 10.15587/1729-4061.2016.80198. (in English)

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. С. В. Мямліним (Україна);

Надійшла до редколегії: 05.12.2017

Прийнята до друку: 06.03.2018

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

UDC 624.971

R. A. SAVCHENKO^{1*}, D. O. BANNIKOV^{2*}, I. I. KYRPA^{3*}

^{1*}Faculty «Industrial and Civil Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 571 90 47, e-mail kriedddd@gmail.com, ORCID 0000-0002-8184-1818

^{2*}Dep. «Construction Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (063) 400 43 07, e-mail bdo2010@rambler.ru, ORCID 0000-0002-9019-9679

^{3*}Dep. «Construction Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 787 76 55, ORCID 0000-0003-3696-4701

RATIONAL ALTITUDE STRUCTURE FOR PLACING THE WIND EQUIPMENT IN THE CONDITIONS OF UKRAINE

Purpose. For wind observations special wind equipment is used, which should be placed at a certain height above the ground for a relatively short period of time. Such equipment can be transferred from one region to another. Therefore, the main purpose of the studies outlined in the publication is the selection and justification of the construction of a mobile altitude structure for the placement of wind equipment in the natural and climatic conditions of Ukraine. **Methodology.** To achieve this purpose, first we chose the type of altitude structure from the existing ones. Next, we determined the nature of the effect of natural and climatic loads on these structures in accordance with the norms of Ukraine. After this, we performed a numerical analysis of the work of altitude structures by the finite element method on the basis of the Lira software. Also, an economic evaluation of the expediency of using altitude structures of a certain type was made, taking into account the lease of the land plot for their location. **Findings.** According to the results of the conducted studies, it should be noted that for the conditions of Ukraine a steel tower is the most rational mobile altitude structure for placing wind equipment for a relatively small interval of time. In comparison with a steel mast of a similar height, the total cost of its installation and operation is lower. The X-cross brace for steel towers from 50 to 60 m in height is more rational than the K-brace. Herewith, its usage decreases the construction cost almost by half. Taking into account the possibility of transportation, the separation of the steel tower into assembly units of 8–10 m in length is the most effective. **Originality.** The authors proposed the method for estimating the economic efficiency of choosing a mobile altitude structure depending on the natural and climatic conditions of the terrain. In accordance with this method, the most rational type of altitude structure is determined taking into account its mobility. **Practical value.** Application of the proposed approaches and the solutions allows reducing the time required for calculations in design practice and also more reasonably approaching the choice of design solutions for altitude structures.

Keywords: altitude structure; mast; tower; Lira software; finite element method

Introduction

Recently, the opinion on climate change that takes place on the planet is constantly expressed and discussed among specialists from various fields [6–8, 14]. Therefore, in order to confirm or refute it, more and more studies are being carried out to identify and record various climatic indicators in different regions. Ukraine is not an excep-

tion, whose territory is located in different natural zones, including seaside, which allows collecting interesting data.

One of the areas of climate research is wind observation, which allows not only to specify the wind load on building structures, but also to collect the relevant statistics. For this purpose, special wind equipment is used, which is placed at a certain height above the ground (from 5 to 60 m) for

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

1–2 years, which requires the use of altitude structures.

Since the data collection should be carried out both in urban and in suburban areas with an arbitrary relief and arbitrary buildings (or lack thereof), the use of existing altitude structures is practically impossible. Much more effective is the installation of wind equipment on specially designed mobile altitude structures, which could be repeatedly assembled/disassembled and moved to the desired point of the terrain.

Purpose

Therefore, the main purpose of the studies outlined in the publication is the selection and justification of the construction of a mobile altitude structure for the placement of wind equipment in the natural and climatic conditions of Ukraine.

To achieve this purpose, it was necessary first to choose the type of altitude structure, then to determine the nature of load impact on it, and only then to develop a constructive solution, and with the least possible weight.

Methodology

Among the existing altitude structures, steel masts and towers are the most suitable for accommodating wind equipment and meet the mobility conditions. Therefore, they were identified as basic for further research.

The normative documents in force in Ukraine that regulate the issues of determining the loads on building structures, including altitude structures, are the standard specifications [5]. According to

these standard specifications, it is necessary to take into account wind, ice and ice-wind loads for different climatic regions.

Since the projected structure can be located in an arbitrary area on the territory of Ukraine, the load values were taken for the area with their highest values. Such an area is the coast of the Azov Sea, where the identified natural and climatic loads reach maximum values.

For conducting variant calculations an extremely popular and proven numerical method of building mechanics – the method of finite elements [9–13] – was used on the basis of the well-known domestic software complex Lira [4].

Four structural variants of an altitude structure were analysed – a mast with a guy inclination angle of 60° and 45° , as well as a tower with X-brace and K-brace. The inclination angle of the mast guys was limited for reasons of reducing the area they should occupy around the structures. The tower brace types were chosen to be the best able to handle loads in different directions and have the highest rigidity.

The height of the structure in both cases was 60 m. The section of the mast was adopted as triangular, and that of the tower – as square, as the most common and tested in practice. Structurally, in all cases, the section of structural elements was assumed to be rounded bending welded profiles, which are also quite affordable, efficient and inexpensive in the modern Ukrainian market. The constructed calculation schemes of the mast and tower are shown in Fig. 1 and 2, respectively.

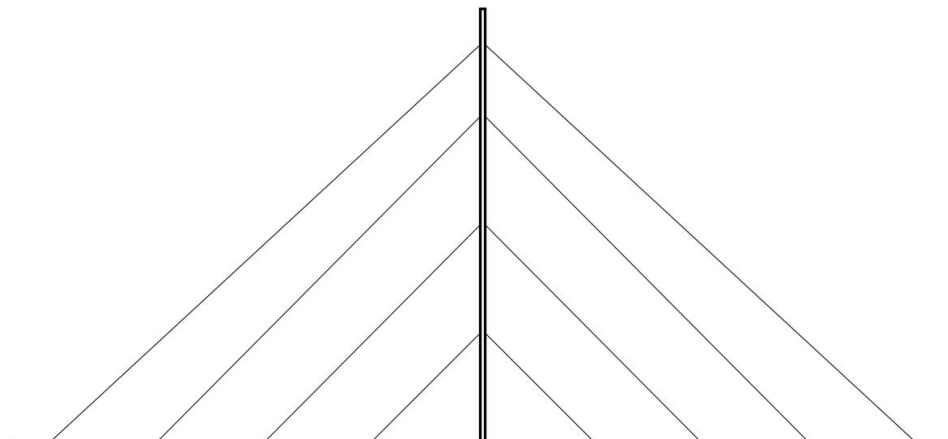


Fig. 1. Finite-element model of mast (guy inclination angle 45°)

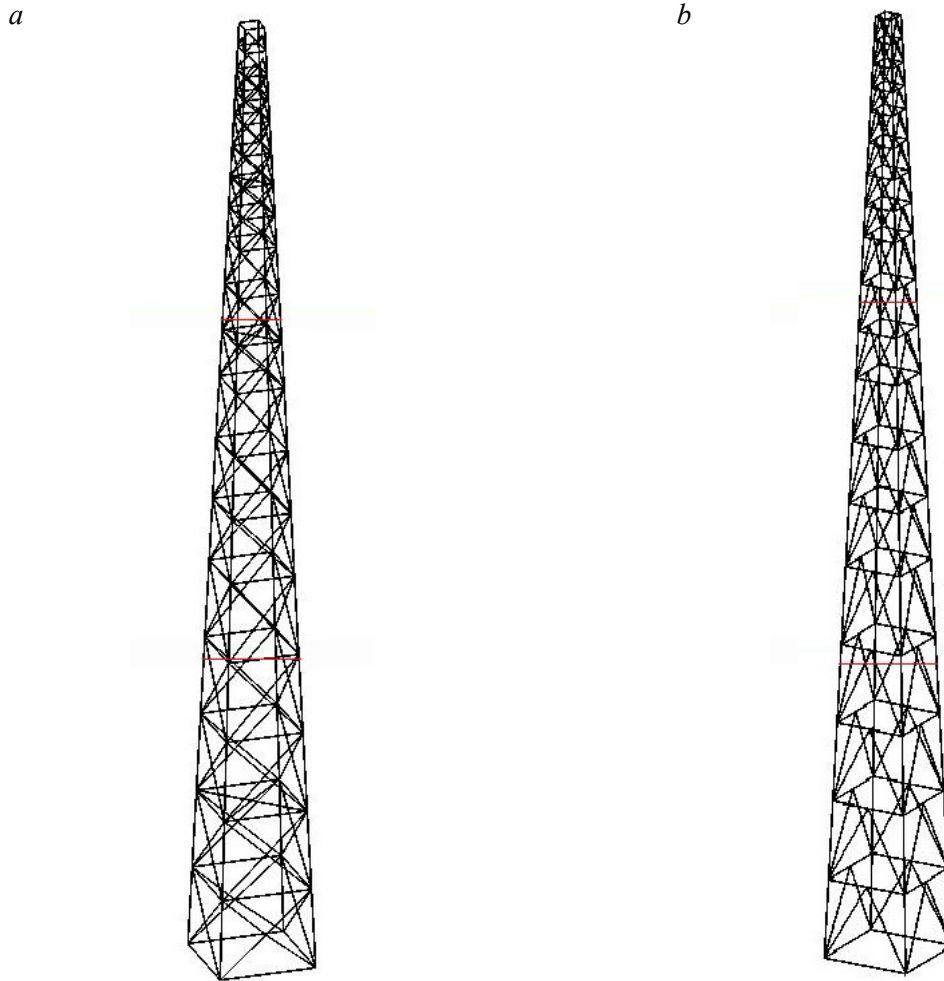


Fig. 2. Finite element model of tower with: *a* – X-brace and *b* – K-brace

They consisted of core finite elements, and the mask guys were modelled using special finite elements. This approach avoids questions of estimating the convergence of results peculiar for finite elements of other types [1–3].

Findings

Based on the calculation results, we obtained the efforts in the altitude structure. The bending moments have the greatest influence on stressed-deformed state of the structures. Their distribution in the form of a mosaic for some of the most typical cases is presented in Fig. 3 and 4.

The calculation results allowed drawing up a summary table, which takes into account the altitude structure mass, as well as total costs, including the manufacture and lease of the land occupied

for a term of 1 year (Table 1). The set value was accepted averaged over Ukraine, because it varies for different regions. However, this analysis reveals the overall picture.

Thus, it is clearly seen from the table that the amount of material (steel) required for placing the mast in comparison with the X-brace tower is more than two times lower, and compared with the K-brace tower – about five times lower.

In calculating the cost of renting a land plot for the location of mobile altitude structure, two options were considered: the first – for urban development, the second – for the countryside (outside the city). At the same time, a significant role is played by the fact that the area necessary for the placement of the mast is much larger than the area occupied by the tower.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

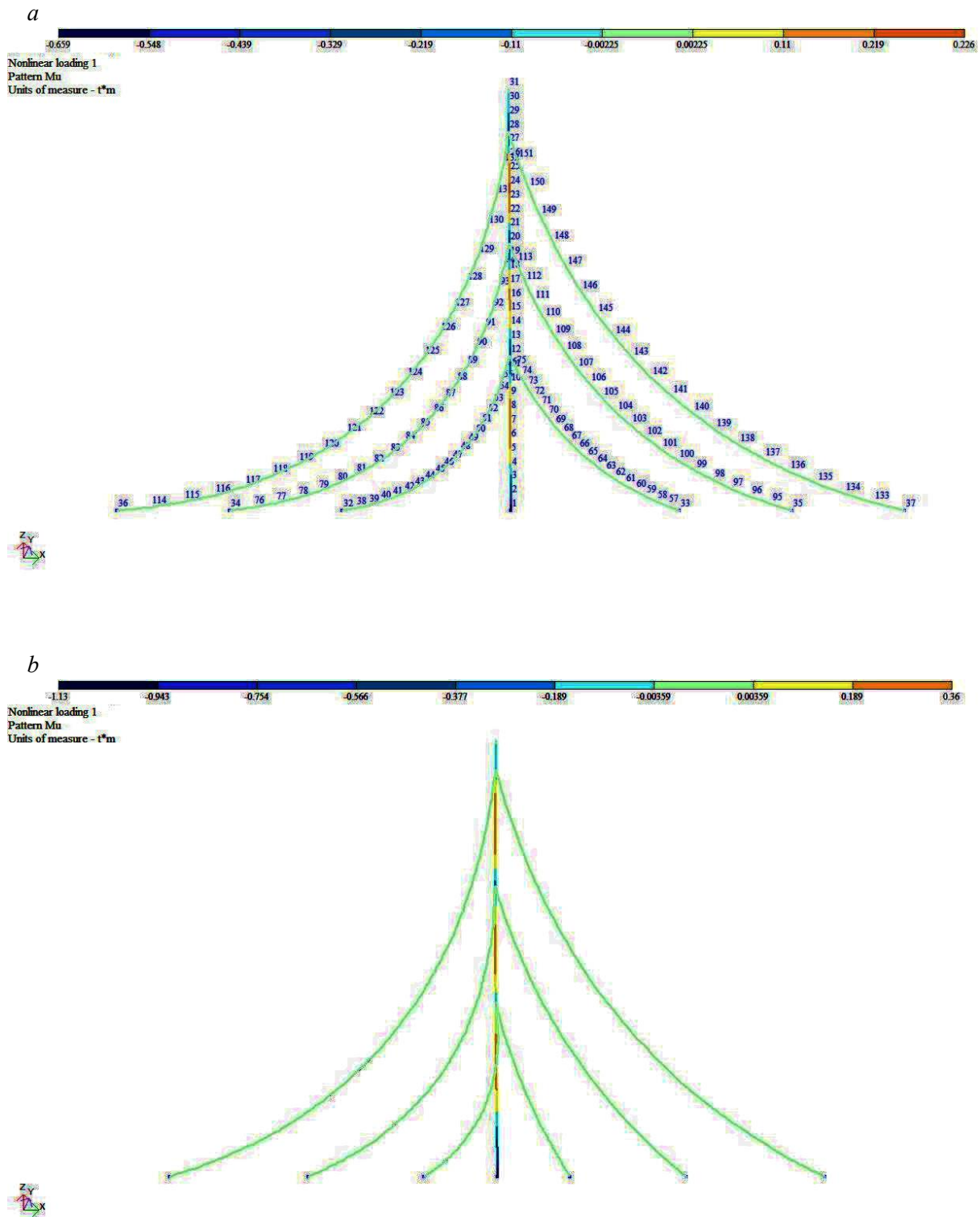


Fig. 3. Pattern of bending moment distribution in mast for wind load:
a – without icing and *b* –with icing

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

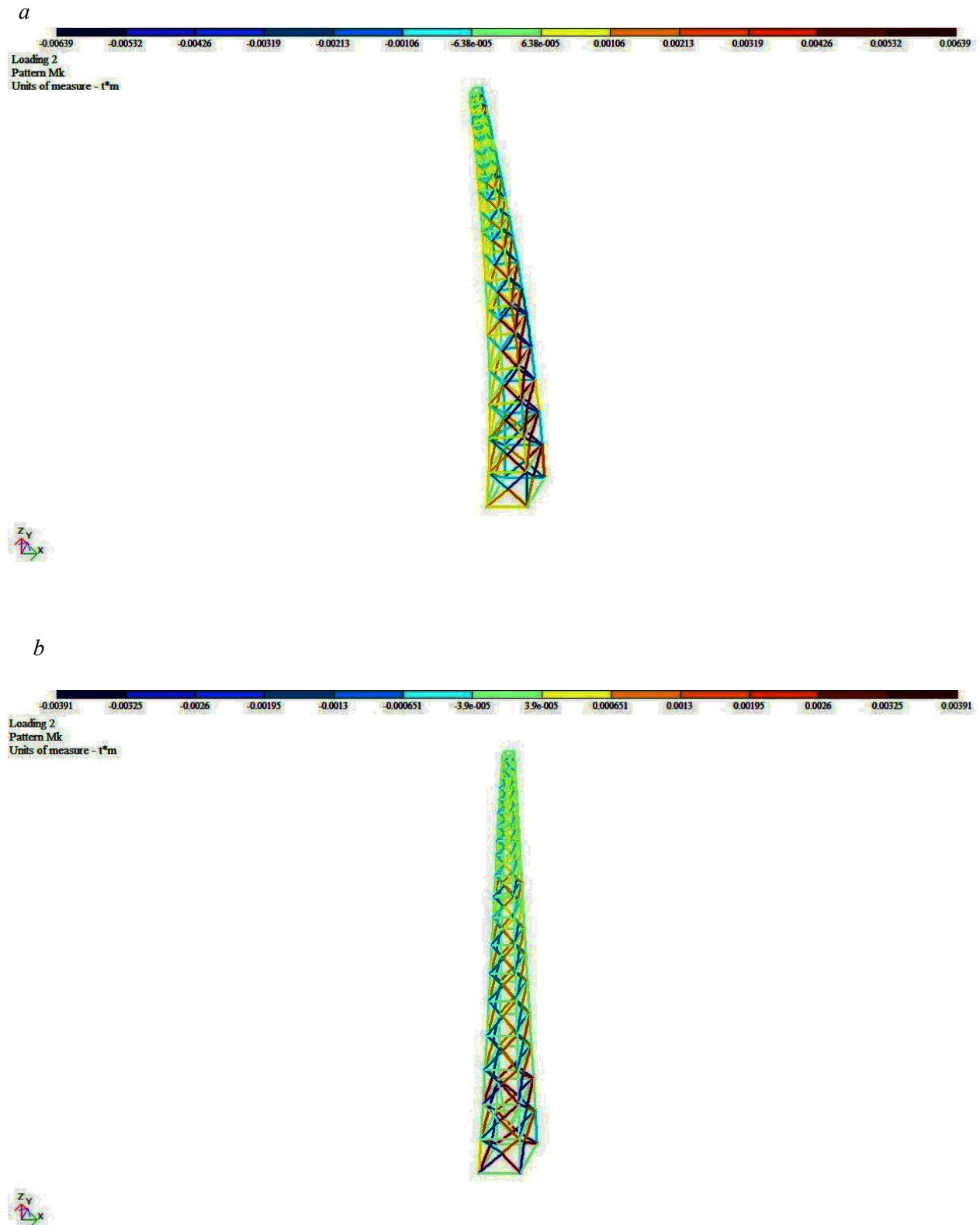


Fig. 4. Pattern of bending moment distribution in tower for wind load:
a – without icing and *b* – with icing

Table 1

Mass and cost of altitude structures

Indicator	Altitude structure			
	Mast with guy angled at 60°	Mast with guy angled at 45°	X-brace tower	K-brace tower
Mass, kg	3 104	2 975	6 640	15 373
Material cost (ths. UAH)	66.43	63.67	142.10	329.00
Metal structure manufacturing cost (ths. UAH)	166.06	159.16	355.24	822.46
Land lease cost, city/countryside (ths. UAH)	420/140.0	280/60.0	4/0.5	4/0.5
Total cost, city/countryside (ths. UAH)	652.5/372.5	502.8/282.8	500.3/497.8	1 154.4/1 151.9

Also, the placement of the mast with a guy angle of 45° turns out to be more economical in terms of material content, but, provided the location within the city, the total cost of construction and operation of the mast due to significant land lease is higher than that of the X-brace tower. Also, in city conditions, it is not always possible to rent a large plot of land necessary for placing a mast. These factors make it possible to state that according to the performed researches, it is better to refuse to use the masts, but to prefer the towers, wherein with X-brace.

A separate issue is the transportation of the chosen structure. To do this, it is planned to be divided into separate transport units. Different schemes of division are possible. The Table 2 shows the assembly unit mass (in kg) for certain schemes. Due to the decrease in the section of the structure in the upper part, the last unit has a smaller mass.

With the first variant of the structure division into 20-meter assembly units, the main advantage is the small number of assembly units themselves, which positively affects the structure reliability, reducing the number of joints. The disadvantage of this division is the emergence of difficulties with transportation, especially within the city. This can lead to additional costs or even the impossibility of transporting units of this length.

The second variant of the division into 10-meter assembly units is the most optimal in both size and mass. A moderate amount of assembly units does not significantly affect the structure reliability.

Considering the third variant of the division into 5-meter units, there are questions regarding the large number of joints in the structure, which potentially

can lead to a decrease in the structure reliability. The positive aspects of using such a division should include the ease of installation on the construction site, using lifting equipment with small load capacity.

Table 2

Mass of transport units

Assembly unit division scheme		X-brace tower
20 m	first unit	5448.8
	last unit	3759.8
10 m	first unit	3173.9
	last unit	1610.9
5 m	first unit	1587.0
	last unit	690.6

Originality and practical value

The research presented in the publication allows estimating the possibility of using different types of mobile steel altitude structures for the conditions of Ukraine. Since the existing professional literature and normative base in the design of such structures lack information on possible approaches or recommendations for their design with the possibility of location in all climatic regions of Ukraine, the studies conducted allow reducing the time consumption for practical calculations.

Having determined, according to the above mentioned methodology, the total cost of building and operation of an altitude structure for a certain period of time, it is possible to provide substantiated recommendations on the feasibility of using each of the considered variants of altitude structures.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Conclusions

Based on the material outlined in the publication, the following conclusions can be drawn:

1. For the conditions of Ukraine, the most rational altitude structure to place the wind equipment for a relatively short period of time (1-2 years) is a steel tower. In comparison with a mast of similar height, the total cost of its installation and operation is lower.

2. X-brace for steel towers with 50-60 m height is more rational than the K-brace. Herewith its use reduces almost twice the construction cost.

3. For the purpose of transportation, the most effective steel tower division is considered the one into 8-10 m long assembly units.

4. The presented methodology for assessing the economic feasibility of choosing a mobile altitude structure can be applied to other types of mobile structures as well.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Банников, Д. О. Корректировка результатов расчета напряжений по МКЭ методом HSS / Д. О. Банников, А. Э. Гуслистая // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 38. – С. 134–141.
2. Банников, Д. О. Оцінка практичної збіжності результатів аналізу пластинчастих моделей в методі скінчених елементів / Д. О. Банников // Нові технології в будівництві. – 2017. – № 32. – С. 26–31.
3. Банников, Д. О. Оценка сходимости напряжений в сложных металлоконструкциях методом конечных элементов / Д. О. Банников, А. Э. Гуслистая // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 4. – С. 93–96.
4. Водопьянов, Р. Ю. Программный комплекс Лира-САПР 2014. Руководство пользователя. Обучающие примеры / Р. Ю. Водопьянов, В. П. Титок, А. Е. Артамонова ; под ред. А. С. Городецкого. – Москва : Электронное издание, 2014. – 394 с.
5. ДБН В.1.2-2-2006 (зі змінами). Система надійності та безпеки в будівництві. Навантаження і впливи. Норми проектування. – Київ : Держбуд, 2007. – 70 с.
6. Логинов, В. Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. – Минск : Беларуская навука, 2012. – 265 с.
7. Лучицкая, И. О. Климат Новосибирска и его изменения / И. О. Лучицкая, Н. И. Белая, С. А. Арбузов ; под ред. Р. Я. Ягудина. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2014. – 224 с.
8. Brönnimann, S. The Machinery: Mechanisms Behind Climatic Changes / S. Brönnimann // Advances in Global Change Research (Climatic Changes Since 1700). – Cham, 2015. – Vol. 55. – P. 71–166. doi: 10.1007/978-3-319-19042-6_3.
9. Dow, J. O. A Concise Overview of the Finite Element Method / J. O. Dow. – New York : Momentum Press, 2015. – 220 p.
10. Finite Element Analysis-New trends and Developments / Edited by Farzad Ebrahimi. – London : InTech, 2012. – 410 p. doi: 10.5772/3352.
11. Overview of Extended Finite Element / Z. Zhuang, Z. Liu, B. Cheng, J. Liao // Extended Finite Element Method. – Amsterdam, 2014. – Chap. 1. – P. 1–12. doi: 10.1016/b978-0-12-407717-1.00001-7.
12. Gatica, G. N. A Simple Introduction to the Mixed Finite Element Method. Theory and Application / G. N. Gatica. – Cham : Springer, 2014. – 132 p. doi: 10.1007/978-3-319-03695-3.
13. Liu, G. R. The Finite Element Method. A Practical Course / G. R. Liu, S. S. Quek. – Amsterdam : Elsevier LTD, 2014. – 433 p. doi: 10.1016/b978-0-08-098356-1.00014-x.
14. Vear, F. Changes in sunflower breeding over the last fifty years / F. Vear // OCL. – 2016. – Vol. 23. – Iss. 2. – P. 1–8. doi: 10.1051/ocl/2016006.

Р. А. САВЧЕНКО^{1*}, Д. О. БАННИКОВ^{2*}, І. І. КИРПА^{3*}

^{1*}Ф-т «Промислове та цивільне будівництво», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 571 90 47, ел. пошта kriededdd@gmail.com, ORCID 0000-0002-8184-1818

^{2*}Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (063) 400 43 07, ел. пошта bdo2010@gambler.ru, ORCID 0000-0002-9019-9679

^{3*}Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 787 76 55, ORCID 0000-0003-3696-4701

РАЦИОНАЛЬНА ВИСОТНА СПОРУДА ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ ВІТРОВОГО ОБЛАДНАННЯ В УМОВАХ УКРАЇНИ

Мета. Для спостережень за вітром використовують спеціальне вітрове обладнання, яке має бути розміщено на певній висоті над поверхнею землі на протязі відносно невеликого терміну часу. Таке обладнання може переноситись із одного регіону місцевості в інший. Тому основною метою викладених у публікації досліджень є вибір та обґрунтування конструкції мобільної висотної споруди для розміщення вітрового обладнання в природно-кліматичних умовах України. **Методика.** Для досягнення поставленої мети спочатку було обрано тип висотної споруди з можливих існуючих. Далі визначався характер дії природно-кліматичних навантажень на ці споруди за чинними в Україні нормами. Після цього виконувався чисельний аналіз роботи висотних споруд методом скінчених елементів на базі програмного комплексу Ліра. Також була надана економічна оцінка доцільності застосування висотних споруд певного типу з урахуванням оренди земельної ділянки для їх розташування. **Результати.** За підсумками проведених досліджень слід констатувати, що для умов України найбільш раціональною мобільною висотною спорудою для розміщення вітрового обладнання на відносно короткий проміжок часу є сталева вежа. У порівнянні зі сталевою щоглою аналогічної висоти сумарна вартість її встановлення та експлуатації виявляється нижчою. Перехресна решітка для сталевих веж висотою порядку 50–60 м є більш раціональною, ніж напіврозкісна. При цьому її використання практично вдвічі зменшує вартість споруди. З урахуванням можливості транспортування найбільш ефективним слід вважати розподіл сталевої вежі на секції довжиною 8–10 м. **Наукова новизна.** Авторами запропонована методика оцінки економічної ефективності вибору мобільної висотної споруди в залежності від природно-кліматичних умов місцевості. Відповідно до цієї методики визначено найбільш раціональний тип висотної споруди з урахуванням її мобільності. **Практична значимість.** Застосування запропонованих підходів та рішень дозволяє скоротити на практиці проектування час, потрібний для розрахунків, а також більш обґрунтовано підходити до вибору конструктивних рішень висотних споруд.

Ключові слова: висотна споруда; щогла; вежа; програмний комплекс Ліра; метод скінчених елементів

Р. А. САВЧЕНКО^{1*}, Д. О. БАННИКОВ^{2*}, І. І. КИРПА^{3*}

^{1*}Ф-т «Промышленное и гражданское строительство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (066) 571 90 47, эл. почта kriedddd@gmail.com, ORCID 0000-0002-8184-1818

^{2*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (063) 400 43 07, эл. почта bdo2010@rambler.ru, ORCID 0000-0002-9019-9679

^{3*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (066) 787 76 55, ORCID 0000-0003-3696-4701

РАЦИОНАЛЬНОЕ ВЫСОТНОЕ СООРУЖЕНИЕ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕТРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ УКРАИНЫ

Цель. Для наблюдений за ветром используют специальное ветровое оборудование, которое должно быть размещено на определенной высоте над поверхностью земли на протяжении относительно небольшого периода времени. Такое оборудование может переноситься из одного региона местности в другой. Поэтому основной целью изложенных в публикации исследований является выбор и обоснование конструкции мобильного высотного сооружения для размещения ветрового оборудования в природно-климатических условиях Украины. **Методика.** Для достижения поставленной цели первоначально был выбран тип высотного сооружения из возможных существующих. Далее определялся характер действия природно-климатических нагрузок на эти сооружения согласно действующих в Украине норм. После этого выполнялся численный анализ работы высотных сооружений методом конечных элементов на базе программного комплекса Лира. Также была выполнена экономическая оценка целесообразности использования высотных сооружений определенного типа с учетом аренды земельного участка для их расположения. **Результаты.** По итогам проведенных исследований следует констатировать, что для условий Украины наиболее рациональным мобильным высотным сооружением для размещения ветрового оборудования на относительно небольшой ин-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

тервал времени является стальная башня. В сравнении со стальной мачтой аналогичной высоты суммарная стоимость ее установки и эксплуатации оказывается меньшей. Перекрестная решетка для стальных башен высотой порядка 50–60 м является более рациональной, чем полураскосная. При этом ее использование практически вдвое снижает стоимость сооружения. С учетом возможности транспортировки наиболее эффективным следует считать разделение стальной башни на секции длиной 8–10 м. **Научная новизна.** Авторами предложена методика оценки экономической эффективности выбора мобильного высотного сооружения в зависимости от природно-климатических условий местности. В соответствии с этой методикой определен наиболее рациональный тип высотного сооружения с учетом его мобильности. **Практическая значимость.** Применение предложенных подходов и решений позволяет сократить на практике проектирования время, необходимое для расчетов, а также более обоснованно подходить к выбору конструктивных решений высотных сооружений.

Ключевые слова: высотное сооружение; мачта; башня; программный комплекс Лира; метод конечных элементов

REFERENCES

1. Bannikov, D. O., & Guslistaja, A. E. (2011). Korrektirovka rezultatov rascheta napryazheniy po MKE metodom HSS. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*, 38, 134-141. (in Russian)
2. Bannikov, D. O., & Guslistaja, A. E. (2011). Otsenka skhodimosti napryazheniy v slozhnykh metallokonstruktsiyakh metodom konechnykh elementov. *Metallurgical and Mining Industry*, 4, 93-96. (in Russian)
3. Bannikov, D. O. (2017). Otsinka praktychnoi zbizhnosti rezultativ analizu plastynchastykh modelei v metodi skinchenykh elementiv. *Novi tekhnologii v budivnytstvi*, 32, 26-31. (in Ukrainian)
4. Vodopyanov, R. Y., Titok, V. P., & Artamonova, A. E. (2014). *Programmnyy kompleks Lira-SAPR 2014. Rukovodstvo polzovatelya. Obuchayushchie primery*. Moscow. (in Russian)
5. Systema nadiinosti ta bezpeky v budivnytstvi. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia, 70 DBN B.1.2-2-2006 (with changes) (2007). (in Ukrainian)
6. Loginov, V. F. (2012). *Radiatsionnye faktory i dokazatel'naya baza sovremennykh izmeneniy klimata*. Minsk: Belaruskaya navuka (in Russian)
7. Luchitskaya, I. O., Belaya, N. I., & Arbuzov, S. A. (2014). *Klimat Novosibirsk i ego izmeneniya*. Novosibirsk: SO RAN Publisher. (in Russian)
8. Brönnimann, S. (2015). The Machinery: Mechanisms Behind Climatic Changes. *Climatic Changes Since 1700*, 55, 71-166. doi.org/10.1007/978-3-319-19042-6_3. (in English)
9. Dow, J. O. (2015). *A Concise Overview of the Finite Element Method*. New York: Momentum Press. (in English)
10. Ebrahimi, F. (2012). *Finite Element Analysis-New trends and Developments*. London: InTech. doi: 10.5772/3352. (in English)
11. Zhuang, Z., Liu, Z., Cheng, B., & Liao, J. (2014). Extended Finite Element Method. *In Overview of Extended Finite Element (pp. 1-12)*. Amsterdam. doi.org/10.1016/b978-0-12-407717-1.00001-7. (in English)
12. Gatica, G. N. (2014). *A Simple Introduction to the Mixed Finite Element Method. Theory and Application*. Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-03695-3. (in English)
13. Liu, G. R. (2014). *The Finite Element Method. A Practical Course*. Amsterdam: Elsevier LTD. doi.org/10.1016/b978-0-08-098356-1.00014-x. (in English)
14. Vear, F. (2016). Changes in sunflower breeding over the last fifty years. *OCL*, 23,2, 1-8. doi: 10.1051/ocl/2016006.doi.org/10.1051/ocl/2016006. (in English)

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

Received: Dec. 11, 2017

Accessed: March 12, 2018

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Л. Ф. ДОЛИНА, Т. П. РЕШЕТНЯК
ОЧИЩЕННЯ СТОКІВ ПРОМИСЛОВИХ
ПІДПРИЄМСТВ ПРИРОДНИМИ МЕТАЛАМИ 7

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

**І. Г. АБЕРНІХІНА, Н. В. ВАЛЕНЮК,
Г. О. СУБОТІНА**
ПІДВИЩЕННЯ РЕНТАБЕЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА
ГАЛУЗІ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА
НАПРЯМАМИ КОМЕРЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ 18

О. А. ТОПОРКОВА, Л. А. ШИЛО
АНАЛІТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФІНАНСОВОГО
АНАЛІЗУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ 31

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

І. О. ЄЛОВИЙ, Є. М. ПОТИЛКІН
РОЗПОДІЛ РУХОМОГО СКЛАДУ ДЛЯ ВІДСТОЮ МІЖ
ШЛЯХАМИ ЗАГАЛЬНОГО ТА НЕЗАГАЛЬНОГО
КОРИСТУВАННЯ 44

А. М. ОКОРОКОВ, М. О. БУЛАХ
ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ
ФОРМУВАННЯ ПРОГРАМ ІЗ РЕФОРМУВАННЯ
ГАЛУЗІ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ 57

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Т. М. МІЩЕНКО
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЇВ
СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ МЕТОДОМ
ЧАСОВИХ РЯДІВ 67

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

**М. Б. КУРГАН, Д. М. КУРГАН, С. Ю. БАЙДАК,
Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА**
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ У
ПЛАНІ ЗА РІЗНИМИ МЕТОДАМИ ЗЙОМКИ 77

С. ФІШЕР, А. НЕМЕС
СПЕЦІАЛЬНИЙ МЕТОД ЛАБОРАТОРНИХ
ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ ОЦІНКИ
РУЙНУВАННЯ ЧАСТОК МАТЕРІАЛУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО БАЛАСТУ 87

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

**В. І. ЗУРНАДЖИ, В. Г. ЄФРЕМЕНКО, Є. В. ДУНАСВ,
А. ЛЕКАТУ, Р. О. КУССА**
ПІДВИЩЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ ТВЕРДОСТІ СТАЛЕВИХ
МОЛОЛЬНИХ КУЛЬ ВИКОРИСТАННЯМ Q-N-P
ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ 103

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

І. В. ЖУКОВИЦЬКИЙ, В. М. ПАХОМОВА
ВИЯВЛЕННЯ ЗАГРОЗ У КОМП'ЮТЕРНІЙ МЕРЕЖІ
НА ОСНОВІ БАГАТОШАРОВОЇ НЕЙРОННОЇ
МЕРЕЖІ 114

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

**В. М. БОГОМАЗ, Л. М. БОНДАРЕНКО,
О. В. БОГОМАЗ, М. Г. БРИЛЬОВА**
ВПЛИВ ОПОРУ КОЧЕННЮ НА ДИНАМІКУ
МЕХАНІЗМІВ ПІДЙОМУ ТРАНСПОРТУЮЧИХ
МАШИН 124

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

**О. В. ФОМІН, М. І. ГОРБУНОВ, Н. С. КОЧЕШКОВА,
В. В. КОВАЛЕНКО**
СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ОПИСАННЯ
КОНСТРУКЦІЇ КРИШКИ ЛЮКА 133

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Р. А. САВЧЕНКО, Д. О. БАННИКОВ, І. І. КИРПА
РАЦІОНАЛЬНА ВИСОТНА СПОРУДА ДЛЯ
РОЗМІЩЕННЯ ВІТРОВОГО ОБЛАДНАННЯ В
УМОВАХ УКРАЇНИ 147

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Л. Ф. ДОЛИНА, Т. П. РЕШЕТНЯК
ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИРОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ..... 7

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

**И. Г. АБЕРНИХИНА, Н. В. ВАЛЕНЮК,
А. А. СУББОТИНА**
ПОВЫШЕНИЕ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ
ОТРАСЛИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК
ПО НАПРАВЛЕНИЯМ КОММЕРЧЕСКОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ 18

Е. А. ТОПОРКОВА, Л. А. ШИЛО
АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФИНАНСОВОГО
АНАЛИЗА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ
ТРАНСПОРТЕ..... 31

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

И. А. ЕЛОВОЙ, Е. Н. ПОТЫЛКИН
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ
ОТСТОЯ МЕЖДУ ПУТЯМИ ОБЩЕГО И НЕОБЩЕГО
ПОЛЬЗОВАНИЯ 44

А. М. ОКОРОКОВ, М. А. БУЛАХ
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ
ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММ
РЕФОРМИРОВАНИЯ ОТРАСЛИ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА..... 57

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

Т. Н. МИЩЕНКО
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ
СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ МЕТОДОМ
ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ 67

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

**Н. Б. КУРГАН, Д. Н. КУРГАН, С. Ю. БАЙДАК,
Н. П. ХМЕЛЕВСКАЯ**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В ПЛАНЕ
НА ОСНОВЕ РАЗНЫХ МЕТОДОВ
СЪЕМКИ..... 77

С. ФИШЕР, А. НЕМЕС
СПЕЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД ЛАБОРАТОРНЫХ
ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАЗРУШЕНИЯ
ЧАСТИЦ МАТЕРИАЛА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
БАЛЛАСТА 87

МАТЕРИАЛОЗНАВСТВО

**В. И. ЗУРНАДЖИ, В. Г. ЕФРЕМЕНКО, Е. В. ДУНАЕВ,
А. ЛЕКАТУ, Р. А. КУССА**
ПОВЫШЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ ТВЕРДОСТИ СТАЛЬНЫХ
МЕЛЮЩИХ ШАРОВ ПРИМЕНЕНИЕМ Q-N-P
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ 103

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТА И ЭКОНОМИКИ

И. В. ЖУКОВИЦКИЙ, В. Н. ПАХОМОВА
ВЫЯВЛЕНИЕ УГРОЗ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ НА
ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ..... 114

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВИДЫ ТРАНСПОРТА. МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

**В. М. БОГОМАЗ, Л. Н. БОНДАРЕНКО,
О. В. БОГОМАЗ, М. Г. БРЫЛЁВА**
ВЛИЯНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ КАЧЕНИЮ НА
ДИНАМИКУ МЕХАНИЗМОВ ПОДЪЕМА
ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ МАШИН 124

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

**А. В. ФОМИН, Н. И. ГОРБУНОВ,
Н. С. КОЧЕШКОВА, В. В. КОВАЛЕНКО**
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ
КОНСТРУКЦИИ КРЫШКИ ЛЮКА 133

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Р. А. САВЧЕНКО, Д. О. БАННИКОВ, И. И. КИРПА
РАЦИОНАЛЬНОЕ ВЫСОТНОЕ СООРУЖЕНИЕ ДЛЯ
РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕТРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В
УСЛОВИЯХ УКРАИНЫ 147

CONTENTS

TRANSPORT ECOLOGY

L. F. DOLINA, T. P. RESHETNIAK WASTEWATER TREATMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES BY THE NATURAL METALS	7
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

ECONOMICS AND MANAGEMENT

I. G. ABERNIKHINA, N. V. VALENIUK, A. A. SUBBOTINA INCREASE IN PROFITABILITY OF THE ENTERPRISE OF THE AUTOMOBILE TRANSPORTATION INDUSTRY BY DIRECTIONS OF COMMERCIAL ACTIVITY	18
O. A. TOPORKOVA, L. A. SHYLO ANALYTICAL SUPPORT OF FINANCIAL ANALYSIS AT THE RAILWAY TRANSPORT	31

OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS

I. A. YELOVOY, Y. N. POTYLKIN ROLLING STOCK DISTRIBUTION FOR PARKING BETWEEN PUBLIC AND NON-PUBLIC RAILWAY TRACKS	44
A. M. OKOROKOV, M. O BULAKH PROPOSALS FOR IMPROVING THE PROCESS OF FORMING PROGRAMS OF REFORMING THE RAILWAY TRANSPORT INDUSTRY	57

ELECTRIC TRANSPORT

T. M. MISHCHENKO PARAMETERS IDENTIFICATION OF THREE-PHASE TO CONTINUOUS CURRENT SYSTEMS DEVICES BY THE TIME SERIES METHOD.....	67
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

RAILWAY TRACK

M. B. KURHAN, D. M. KURHAN, S. Y. BAIDAK, N. P. KHMELEVSKA RESEARCH OF RAILWAY TRACK PARAMETERS IN THE PLAN BASED ON THE DIFFERENT METHODS OF SURVEY.....	77
S. FISCHER, A. NÉMETH SPECIAL LABORATORY TESTING METHOD FOR EVALUATION PARTICLE BREAKAGE OF RAILWAY BALLAST MATERIAL	87

MATERIAL SCIENCE

V. I. ZURNADZHY, V. G. EFREMENKO, E. V. DUNAEV, A. LEKATOU, R. A. KUSSA INCREASING VOLUME HARDNESS OF STEEL GRINDING BALLS USING Q-N-P HEAT TREATMENT	103
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

TRANSPORT AND ECONOMIC TASKS MODELING

I. V. ZHUKOVYTS'KYY, V. M. PAKHOMOVA IDENTIFYING THREATS IN COMPUTER NETWORK BASED ON MULTILAYER NEURAL NETWORK.....	114
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

NON-TRADITIONAL TRANSPORT MODEL. MACHINES AND MECHANISMS

V. M. BOHOMAZ, L. M. BONDARENKO, O. V. BOHOMAZ, M. G. BRYLYOVA EFFECT OF RESISTANCE TO ROLLING ON THE DYNAMICS OF THE LIFTING MECHANISMS OF THE TRANSPORTING MACHINES	124
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

O. V. FOMIN, M. I. GORBUNOV, N. S. KOCHESHKOVA, V. V. KOVALENKO STRUCTURAL-FUNCTIONAL DESCRIPTION OF THE HATCH COVER CONSTRUCTION	133
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

TRANSPORT CONSTRUCTION

R. A. SAVCHENKO, D. O. BANNIKOV, I. I. KYRPA RATIONAL ALTITUDE STRUCTURE FOR PLACING THE WIND EQUIPMENT IN THE CONDITIONS OF UKRAINE	147
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

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. Для набору формул використовується MathType.

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 A4, враховуючи таблиці, ілюстрації, список використаних джерел. Статті, більші за обсягом, можуть бути прийняті до розгляду на підставі рішення редколегії.

Для здачі статті до друку авторам необхідно надати наступні документи:

- 1) файл зі статтею та друкований примірник рукопису з підписами всіх співавторів на останньому аркуші роботи;
- 2) оригінал Ліцензійного договору з підписами всіх співавторів;
- 3) файл з відомостями про кожного з авторів – прізвище, ім'я, по-батькові повністю, посада, місце роботи, наукове звання, науковий ступінь, контактна інформація (телефон, адреса електронної пошти), код ORCID. Відомості про авторів подаються трьома мовами – українською, російською та англійською;
- 4) Оригінал експертного висновку.

Увага! Згідно з міжнародними стандартами якості наукових публікацій необхідним є: наявність авторських розширених (250-300 слів) і структурованих резюме (рефератів – abstracts), у т.ч. англійською мовою, рецензій, присланих списків літератури в романському алфавіті тощо.

Виклад основного матеріалу статті повинен мати такі елементи:

- **вступ:** постановка проблеми, аналіз останніх досліджень;
- **мету;**
- **методику:** виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Докладно описують загальну методику дослідження, щоб його результати могли бути відтворені: описується послідовність виконання дослідження, обґрунтовується вибір використовуваних і викладається суть запропонованих методів і моделей, змістовно визначається, що саме досліджувалося кожним методом;
- **результати:** містять експериментальні чи теоретичні дані, отримані в роботі, для демонстрації того, що отримано нове рішення проблеми, і що робота є значним кроком вперед у порівнянні з попередніми дослідженнями. Дані подаються у формі таблиць, графіків, діаграм, рівнянь, фотографій, рисунків, статистичними оцінками. Результати повинні бути викладені коротко і чітко, при цьому містити досить інформації для оцінки зроблених висновків, також має бути очевидно, чому для аналізу обрані саме ці дані;
- **наукову новизну та практичну значимість.** Наукова новизна отриманих результатів викладається аргументовано, коротко і чітко. До наукової новизни не можна відносити прикладні результати (способи, пристрої, методики, схеми, алгоритми). Практичне значення отриманих результатів становлять відомості про використання результатів досліджень або рекомендації з їх використання;
- **висновки:** необхідно навести досягнуті кількісні та якісні показники дослідження, викласти рекомендації з їх використання.

З усіх питань звертайтеся до редакції журналу за адресою:

Науково-технічна бібліотека (ауд. 166),

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,

вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна,

49010

e-mail: visnik@diit.edu.ua

Сайт журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>

Наукове видання

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

№2 (74) 2018

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – О. В. Помінова

Комп'ютерне верстання – О. В. Помінова

Літературна обробка – Ю. Г. Дішкант, С. П. Лагдан

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 18,48. Тираж 100 пр. Зам. №02/02

**Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Адреса редакції, видавця:

вул. Лазаряна, 2, кім. 267, м. Дніпро, 49010, Україна

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Друк:

Видавництво «Герда», 49000, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 60

Свідцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 397 від 03.04.2001 р.



Научное издание

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

№ 2 (74) 2018

(на українском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – О. В. Поминова

Компьютерная верстка – О. В. Поминова

Литературная обработка – Ю. Г. Дишкант, С. П. Лагдан

Формат 60×84¹/₈. Ус. печат. лист. 18,48. Тираж 100 экз. Зак. №02/02

**Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна**

Адрес редакции, издателя:

ул. Лазаряна, 2, ком. 267, г. Днипро, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Печать:

Издательство «Герда», 49000, г. Днепр, пр. Д. Яворницкого, 60

Свидетельство субъекта издательского дела серия ДК № 397 от 03.04.2001 г.



Scientific Edition

**NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU.
VİSNIK DNİPROPETS'KOGO NACİONAL'NOGO UNİVERSİTETU
ZALİZNIČNOGO TRANSPORTU**

=

SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

No. 2 (74) 2018

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – O. V. Pominova

Desktop publishing – O. V. Pominova

Redaction – Yu. H. Dishkant, S. P. Lahdan

Format 60×84¹/₈. Conventional printed sheet 18,48. Circulation 100. Order no. 02/02

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

Address of editor and editorial office

Lazaryan St., 2, r. 267, Dnipro, 49010, Ukraine

Tel.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Printing

Publishing house «Gerda», 49000, Dnipro, Yavornitsky av., 60

