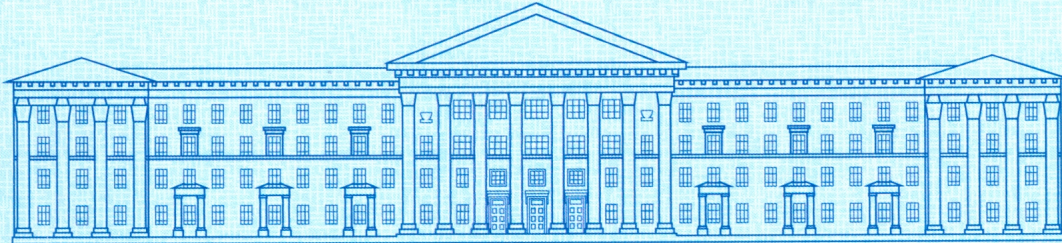




ISSN 2307-3489 (Print)
ISSN 2307-6666 (Online)



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

№ 6(72)

•• 2017 ••

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

№ 6 (72) 2017

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
Розвиток вищої школи

Дніпро

2017

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

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

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

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ (УКРАЇНА):

Афанасов А. М., Банніков Д. О., Бараш Ю. С., Біляєв М. М., Бобирь Д. В., Бобровський В. І., Боднар Б. С., Босов А. А., Вакулєнко І. О., Власова Т. І., Волкова В. Є., Габринєць В. О., Гаврилюк В. І., Гєтьман Г. К., Главацький К. Ц., Гнєнний О. М., Головокова Л. С., Гончаров К. В., Горобєць В. Л., Доценко О. М., Дудкіна В. В., Ейгугіс Г. Д., Жуківичський 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., Настєчик М. П., Нетєса 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. Гєдиминаса, 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. Гєдиминаса, Литва); Манашкін Л. А. («ALGAE ENERGY SOLUTION, LLC», США); Сладковські А. (Сілезька політехніка, Республіка Польща); Стржелицькі Р. (Гданська морська академія, Республіка Польща); Тітова Т. С. (Петербурзький державний університет шляхів сполучення Імператора Олександра І, Російська Федерація); Худзікевич А. (Варшавський політехнічний університет, Республіка Польща); Шєпонг Адам (Варшавський політехнічний університет, Республіка Польща).

Журнал зарєєстровано 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 зарєєстровано: в міжнародних каталогах періодичних видань Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; наукометричних системах Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI. Друкується за рішенням вченої ради університету від 28.12.2017 р., протокол № 5

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

Видання публікується з 1936 р.:

- 1936–1993 рр. – «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

№ 6 (72) 2017

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
Развитие высшей школы

Днепро

2017

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., Эйтугис Г. Д., Яришкина Л. А.

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

Журнал
зарегистрирован

Государственной регистрационной службой Министерства юстиции Украины.
Свидетельство о регистрации КВ № 19609-9409ПР от 29.12.2012 г.
Издание внесено в Перечень научных специализированных изданий Украины
приказом Министерства образования и науки Украины 29.12.2014 г. № 1528
(технические науки).

Журнал зарегистрирован: в международных каталогах периодических изданий
Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; наукометрических системах
Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.
Печатается по решению ученого совета университета от 28.12.2017 г., протокол № 5

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 NACIONAL'NOGO UNÌVERSITETU
ZALÌZNIČNOGO TRANSPORTU
=
SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

Scientific journal

No. 6 (72) 2017

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
High School Development

Dnipro

2017

Founder:

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

Chairman of the Editorial Board of the University	Pshinko O. M., Doctor of Technical Sciences
Editor-in-Chief	Myamlin S. V., Doctor of Technical Sciences
Deputy Chief Editor	Kozachenko D. M., Doctor of Technical Sciences
Executive Secretary	Kolesnykova T. O., PhD of Social Communications

EDITORIAL BOARD MEMBERS (UKRAINE):

Afanasov A. M., Bannikov D. O., Barash Yu. S., Biliaiev M. M., Bobrovskiy V. I., Bobyr D. V., Bodnar B. J., Bosov A. A., Crivchick G. G., Dotsenko O. M., Dudkina V. V., Eitutis H. D., Gabryniec V. A., Gavrilyuk V. I., Getman G. K., Glavatskiy K. Ts., Hnennyi O. M., Golovkova L. S., Goncharov K. V., Gorobets V. L., Kapitsa M. I., Kazakevich M. I., Kopytko V. I., Kostin M. O., Krasnyuk A. V., Kravets V. V., Kurgan M. B., Kuznetsov V. G., Mukha A. M., 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); Kuanyshev 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, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI. Published according to the Academic Council decision of the University from 28.12.2017, Protocol no. 5
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»

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.225:629.421

Д. М. КОЗАЧЕНКО^{1*}, О. Б. ОЧКАСОВ^{2*}, А. П. ШЕПОТЕНКО^{3*}, Н. М. САННИЦЬКИЙ^{4*}

^{1*}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 kozachenko@upr.dit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

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

^{3*}Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, ел. пошта sthorn@ua.fm, ORCID 0000-0003-4349-1674

^{4*}Львівський коледж транспортної інфраструктури, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Снопковська, 47, Львів, 79011, тел. +38 (032) 276 14 90, ел. пошта nazar_tzt@ukr.net, ORCID 0000-0003-0254-7301

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРИВАТНИХ ЛОКОМОТИВІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ У НАПРЯМКУ МОРСЬКИХ ПОРТІВ

Мета. У даний час магістральний залізничний транспорт України знаходиться повністю в державній власності. Україна взяла на себе зобов'язання щодо імплементації Директив Європейського Союзу, які передбачають недискримінаційний допуск до залізничної інфраструктури незалежних перевізників. Значна кількість факторів суттєво впливає на умови роботи незалежних від Укрзалізниці перевізників. Однією з задач, яка виникає при виконанні перевезень незалежними перевізниками, є організація роботи приватних локомотивів та їх обслуговування локомотивними бригадами. Метою статті є оцінка технічних можливостей використання приватних локомотивів для виконання перевезень вантажів у напрямку морських портів. **Методика.** Дослідження виконані на основі методів організації експлуатаційної роботи залізниць та методів тягових розрахунків. **Результати.** У роботі розглянута проблема організації перевезень вантажів у морські порти незалежними перевізниками. Визначені потреби в екіпірувальних матеріалах для тепловозів та електровозів у залежності від відстані перевезень. Також визначені допустимі відстані, які можуть обслуговувати локомотивні бригади при виконанні вимог щодо тривалості їх безперервної роботи. Розроблено схеми розташування інфраструктурних об'єктів для забезпечення роботи локомотивів та локомотивних бригад. Встановлено, що тепловози незалежних перевізників зможуть обслуговувати перевезення між станціями навантаження та вивантаження до 822 км, а електровози – до 1000 км із спорудженням основної частини локомотивної інфраструктури на припортовій станції. Виконані розрахунки показують потенційну можливість охоплення незалежними перевізниками залізничних перевезень у морські порти з використання виключно власної локомотивної інфраструктури. Для уточнення довжини пліч обслуговування локомотивами поїздів та локомотивів локомотивними бригадами необхідно виконати додаткові розрахунки на основі детальних профілів ділянок обслуговування. **Наукова новизна.** У дослідженні отримані схеми обігу локомотивів та локомотивних бригад незалежних перевізників при обслуговуванні ними морських портів. **Практична значимість.** Результати роботи дозволяють оцінити потреби в локомотивній інфраструктурі, які виникнуть при відкритті ринку залізничних перевезень для незалежних перевізників.

Ключові слова: залізничний транспорт; вантажні перевезення; локомотив; реструктуризація залізниць; організація перевезень

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Вступ

Однією з основних проблем сучасного залізничного транспорту в Україні, яка загрожує як стабільності, так і безпеці роботи галузі, є критичний знос його основних засобів, зокрема локомотивного парку. Згідно з Пояснювальною запискою до фінансового плану Укрзалізниці на 2017 рік [10] локомотивний парк підприємства складає 3871 одиниць, у тому числі:

– інвентарний парк електровозів складає 1 720 одиниць з них: в експлуатації – 1 061, несправних – 509, запас-резерв – 150, при цьому знос електровозів складає 93,0 %.

– інвентарний парк тепловозів складає 2 151 одиниць, з них: в експлуатації – 1 017,5, несправних – 984,5, запас – резерв – 149, при цьому знос тепловозів складає 99,8 %.

Кризові явища на ринках залізничних перевезень, які перебувають в монопольному стані, характерні для багатьох країн. У Європейському Союзі як вирішення даної проблеми реалізовано вертикальний поділ залізничної галузі шляхом відділення інфраструктури залізничного транспорту від перевізної діяльності. При цьому було видано чотири пакети Директив Європейського Союзу, однією з основних цілей якого є забезпечення недискримінаційного допуску незалежних перевізників на залізничну інфраструктуру [20, 23]. Дослідження проблем, з якими стикаються незалежні перевізники виконано в [22]. Зокрема в [22] досліджені умов роботи залізниць Фінляндії. Як основні проблеми, залізничних перевізників у Фінляндії вказуються: необхідність значних інвестицій у рухомий склад, дискримінація на етапі складання розкладу руху поїздів, складність бюрократичних процедур при отриманні дозвільних документів. Для умов Польщі та Швеції відповідно до [19] основними бар'єрами для входу на ринок є висока вартість тягового рухомого складу та бюрократія. Для зменшення початкових інвестицій в локомотиви перевізники вважають за краще використовувати колишні у вживанні локомотиви.

У [21] представлений аналіз умов роботи незалежних перевізників у Німеччині реалізована модель часткового вертикального розділення залізничної галузі, коли менеджер інфраструктури має також підрозділи, які надають послуги з перевезення вантажів і пасажирів.

При цьому вказується, що в рамках діючої в Німеччині нормативної бази менеджер інфраструктури має можливість створювати преференції для залежних від нього перевізників за рахунок варіювання складу і якості послуг доступу до залізничної інфраструктури. Додатковими проблемами, з якими стикаються незалежні перевізники в Німеччині, згідно з [25] є те, що залізнична інфраструктура в країні насамперед адаптована для перевезення пасажирів групою Deutsche Bahn, тому для вантажних перевізників (за технічними стандартами) висуваються підвищені вимоги, також проблеми створює відсутність повного доступу до інформації, що характеризує інфраструктуру та ін.

На теперішній час магістральний залізничний транспорт України знаходиться повністю у державній власності. Україна є однією з небагатьох держав Східної та Центральної Європи, де збереглася подібна структура організації ринку залізничних перевезень. Аналіз процесів реформування Укрзалізниці виконаний у [18, 24]. Реформування залізничного транспорту України було формально розпочато в 2006 році з прийняттям «Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту», проте істотних змін на ринку залізничних перевезень за 11 років так і не відбулося, що є однією з причин його незадовільного стану в даний час і може привести до колапсу залізничного транспорту в майбутньому. У цих умовах демонополізація ринку залізничних перевезень є одним із кроків, спрямованих на створення конкурентного середовища у цьому секторі транспортного ринку та підвищення його привабливості для інвесторів, а також пропонується як метод зниження логістичних витрат у вантажовідправників [2, 6]. Додатковим стимулом до реформування залізничної галузі є підписання Україною угоди про асоціацію з Європейським Союзом, відповідно до якої Україна взяла на себе зобов'язання щодо імплементації Директив Європейського Союзу, які передбачають недискримінаційний допуск до залізничної інфраструктури незалежних перевізників.

У той же час необхідно відзначити і суттєві відміни в умовах роботи залізничного транспорту України та залізниць країн Європейського Союзу:

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

– вантажна напруженість залізниць України істотно перевищує цей показник на залізницях Європейського Союзу; для прикладу – вона вище вантажнонапруженості залізниць Німеччини в 4 рази і Польщі у 7 разів;

– середня відстань перевезень в Україні складає 544 км, у той час, як у країнах Європейського Союзу – 200–350 км;

– рівень тарифів на послуги з перевезень вантажів, які надає Укрзалізниця, є одним з найнижчих у світі; для прикладу – вартість тонно-кілометра перевезення вантажів залізницею в Україні більш ніж в 11 разів нижче, ніж у Польщі [12];

– рух вантажних поїздів в Європейському Союзі переважно виконується за розкладом, у той час, як в Україні перевезення вантажів здійснюються без розкладу.

Вказані фактори будуть суттєво впливати на умови роботи незалежних від Укрзалізниці перевізників.

Мета

Метою статті є оцінка технічних можливостей використання приватних локомотивів для виконання перевезень вантажів в напрямку морських портів.

Методика

Чинна законодавча та нормативна база України не виключає роботу на магістральній залізничній мережі локомотивів, що не належать Укрзалізниці. Робота таких локомотивів на залізницях загального користування регламентується п. 9.12 «Правил технічної експлуатації залізниць України». Пунктом 20 «Збірника тарифів» [5] передбачена тарифікація послуг за перевезення вантажів магістральними залізницями з власним (орендованим) локомотивом. Стягнення платежів при цьому здійснюється з розрахунку на локомотив та на вагон (завантажений або порожній).

Експлуатація локомотивів нерозривно пов'язана з роботою локомотивної інфраструктури (локомотивними депо, пунктами екіпування, пунктами технічного огляду локомотивів, пунктами відпочинку локомотивних бригад та ін.), тому розташування технічних станцій на мережі, що мають таку інфраструктуру, здійс-

нює визначальний вплив на показники роботи локомотивного парку. Сучасна технологія вантажних перевезень передбачає, що Укрзалізниця є одночасно як менеджером інфраструктури, так і громадським перевізником. Локомотиви, які обслуговують перевезення вантажів, приписані до певних локомотивних депо і працюють у встановлених зонах обертання. При цьому основними завданнями, які вирішуються при організації тягового забезпечення руху поїздів, є оптимізація схем обігу локомотивів на мережі [16], оптимізація призначення локомотивів і бригад на поїзди [3, 6], зменшення витрат енергоресурсів [4, 15]. Для оцінки та порівняння різних варіантів рішення використовуються інтегральні економічні критерії, що враховують витрати, пов'язані з використанням локомотивів для тяги поїздів і їх резервним пробігом, оплатою праці локомотивних бригад, простоями вагонів на станціях. Вирішення конфліктних ситуацій здійснюється диспетчерським апаратом з метою досягнення загальносистемного ефекту. Проблеми забезпечення доступу рухомого складу до головних та приймально-відправних колій і усунення аварійних або конфліктних ситуацій з поїзними та маневровими пересуваннями рухомого складу Укрзалізниці вирішується шляхом пропуску поїздів незалежних перевізників за жорстким розкладом [1, 17]. Організація доступу до інфраструктури локомотивів приватних перевізників в умовах, коли перевезення здійснюються без дотримання розкладу руху вантажних поїздів, є проблемним питанням, яке пов'язане як із забезпеченням недискримінаційного доступу, так і з відсутністю тарифів на такі послуги. Більш того, затримки в обслуговуванні локомотивів будуть викликати і простой составів поїздів на магістральній інфраструктурі, тарифи на використання якої також відсутні. У зв'язку з цим на етапі формування ринку перевезень роботоспроможною буде схема, коли технічне обслуговування локомотивів буде здійснюватися у пунктах, де сконцентровано навантаження, чи розвантаження відправницьких маршрутів. Характерними рисами залізничних перевезень, які склалися на сьогодні в Україні, є висока концентрація навантаження та вивантаження на невеликій кількості станцій. Так, 50 % вантажної роботи Укрзалізниці припадає

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

на 4 % станцій. Основні станції навантаження і вивантаження представлені на рис. 1, де розмір кругів відповідає обсягу виконуваної вантажної роботи.

Зокрема імовірними пунктами призначення поїздів, що обслуговуються приватними локомотивами, можуть бути морські порти Великої Одеси, де концентруються біля 20 % вивантаження вагонів по Укрзалізниці.

Організація роботи приватних локомотивів у цьому випадку буде здійснюватися за плечовим способом, як це зображено на рис. 2, коли локомотив рухається від станції *A* до порту *M* завантаженим за маршрутом, на станції *M* проходить технічне обслуговування та рухається порожнім за маршрутом до станції завантаження *A*.

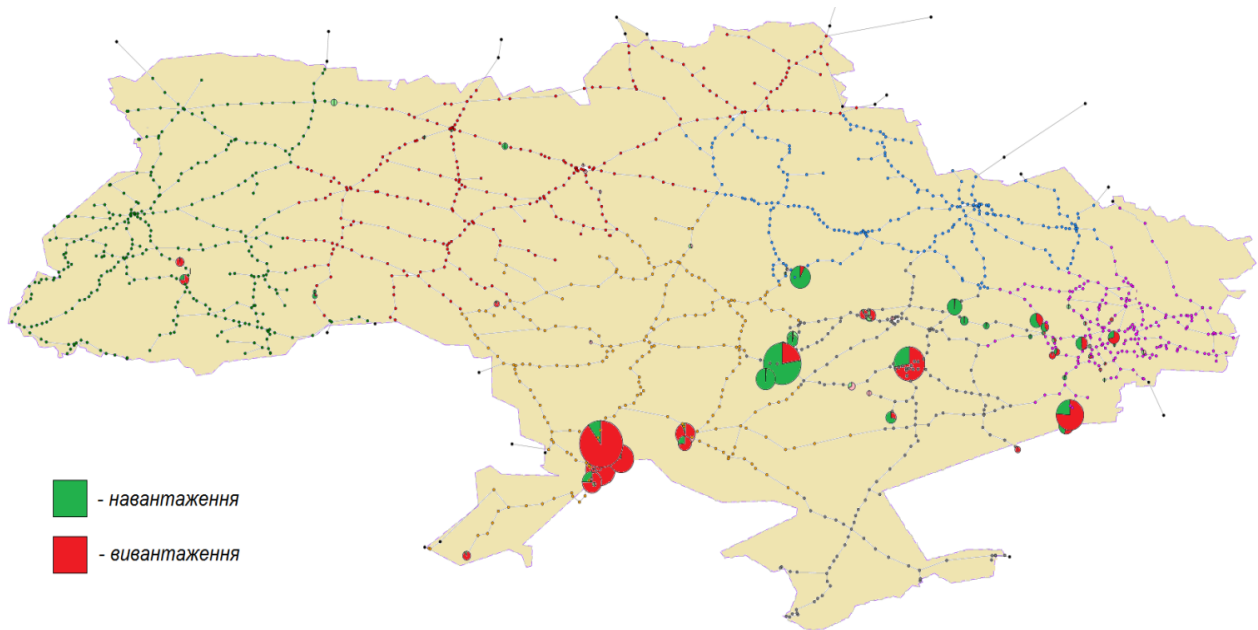


Рис. 1. Розташування основних станцій навантаження і вивантаження на території України

Fig. 1. Location of the main loading and unloading stations on the territory of Ukraine

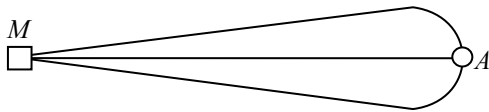


Рис. 2. Схема роботи локомотивів за плечовим способом

Fig. 2. Locomotive haul distance scheme

Необхідно відзначити, що потенційно локомотивні депо можуть споруджуватись як на станції навантаження *A*, так і на припортовій станції *M*. Однак, враховуючи, що припортові станції співпрацюють з великою кількістю вантажовідправників, а крупні станції навантаження, як правило, орієнтовані лише на один вид вантажу, то більш стійкою економічно буде схема розташування депо на припортовій стан-

ції, коли незалежні перевізники виконують завезення вантажів у морські порти.

Відстань, на якому може обслуговувати локомотив при організації його роботи за плечовим способом, обмежена запасом екіпірувальних матеріалів і регламентованим часом між технічними обслуговуваннями. Зокрема для тепловозів ця відстань обмежується запасами пального та піску, а для електровоза – лише запасами піску. Також додатковим обмеженням для електровозів є вид струму в контактній мережі.

Технічна норма витрати енергоносія локомотивом визначається як витрата енергоносія, віднесена до одиниці виконаної їм тоннокілометрової роботи бруто [8]. Залежність технічної норми від експлуатаційних і технічних

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

факторів визначається рівнянням з тягово-енергетичного паспорту локомотива. Це рівняння використовують для розрахунку планових норм по депо, для виявлення складу нормоутворюючих факторів і визначення коефіцієнтів їх впливу, а також безпосередньо для розрахунку норми витрат енергоносія на конкретну поїзду. При цьому рівняння тягово-енергетичного паспорта локомотива, що використовується при визначенні планових норм по депо, встановлює залежність між технічною нормою та енергетичними характеристиками локомотива, складом поїзда і параметрами колії, що отримані при умові руху поїзда масою

Q з середньою технічною швидкістю v_T по спрямленій ділянці колії з постійним ухилом i .

Результати

У випадку, коли станція відправлення A буде розташовуватися в центральній частині України, а станція призначення – у морському порту M , то еквівалентний ухил на ділянці обслуговування буде складати біля 0,25 ‰. Вихідні дані для розрахунку наведені у табл. 1.

У якості розрахункових типів локомотивів прийняті тепловоз 2ТЭ116 та електровоз ВЛ80 т.с [13, 14]. Паспортні характеристики локомотивів, для яких виконується розрахунок, приведені в таблиці 2.

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку довжини ділянки, що обслуговується локомотивом

Table 1

Input data for calculating the length of the area serviced by the locomotive

Показник	Значення показників під час руху	
	до порту	до станції навантаження
Еквівалентний ухил	-0,25‰	0,25‰
Відсоток порожніх вагонів	0 %	100 %
Навантаження на вісь	23,5 т/вісь	6 т/вісь
Маса состава поїзда	5 170 т	1 320 т
Технічна швидкість	60 км/год	60 км/год
Дільнична швидкість	45 км/год	45 км/год

Таблиця 2

Паспортні характеристики локомотивів

Table 2

Passport characteristics of locomotives

Серія локомотива	Технічні характеристики локомотива				
	Номінальна дотична потужність локомотива N_{KH} , кВт	Номінальний ККД локомотива $\eta_{ЛН}$	Зчіпна маса локомотива P , т	Годинні витрати енергоресурсів, кВт-год (кгнп – для тепловозів)	
				номінальний режим B_{CH}	режим холостого ходу b_X
ВЛ80 т.с.	5 956	0,899	190	6 625	330
2ТЭ116	3 335	0,293	276	960,0	30,0

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Рівняння з тягово-енергетичного паспорту локомотива визначає норму витрат пального чи електроенергії на 10 000 ткм брутто і має наступний узагальнений вигляд:

$$N_B = \frac{A_T}{Q \cdot \eta_{ДН}} \times \left[\frac{K_X \bar{b}_X N_{KH}}{v_T} + \frac{K_{TC} - K_X \cdot \bar{b}_X}{367,2} (P + Q)(W_0 + i) \right],$$

де A_T – індекс виду тяги, який для електричної тяги складає 10 000, а для тепловозної тяги приймається рівним 843 (при вимірюванні витрат пального в натуральних та 1 222,4 при вимірюванні витрат пального в умовних одиницях [8]; Q – маса состава поїзда, т; \bar{b}_X – відносні витрати енергоносіїв на холостому ходу

$$\bar{b}_X = \frac{b_X}{B_{CH}};$$

де K_{TC} – коефіцієнт технічного стану локомотива; K_X – коефіцієнт використання потужності допоміжних споживачів локомотива на холостому ходу; W_0 – основний питомий опір руху поїзда [11].

Розрахунки витрат пального для тепловоза 2ТЭ116, показують, що при русі з составом масою 5 170 т у напрямку порту норма витрати пального буде складати 13,5 кг натурального пального (кгнп) на 10^4 ткм брутто або 6,9 кгнп на поїздо-км, а при русі з составом 1 320 т у напрямку станції навантаження, норма витрат пального буде складати 39,4 кгнп на 10^4 ткм або 5,2 кгнп на поїздо-км.

Норма витрати електроенергії для електровоза ВЛ80 при русі з составом масою 5 170 т у напрямку порту складає 56,5 кВт на 10^4 ткм брутто або 29,2 кВт на поїздо-км, а при русі з составом 1 320 т у напрямку станції навантаження, норма витрат електроенергії буде складати 169,6 кВт на 10^4 ткм або 22,4 кВт на поїздо-км.

Пункти екіпіровки локомотивів встановлюються на мережі з урахуванням найбільшого пробігу локомотивів між наповненням баків дизельним паливом та бункерів піском.

Найбільший пробіг тепловозів між пунктами забезпечення дизельним паливом, км, визначається за формулою:

$$L_{ДП} = \frac{K_{ДП} V_{ДП}}{Q e_{ДП}} 10^4,$$

де $K_{ДП}$ – коефіцієнт, який враховує 10–20 %-ний запас пального; $V_{ДП}$ – сумарна місткість паливних баків локомотива, кг; $e_{ДП}$ – норма витрат натурального дизельного пального, кг/ 10^4 т-км брутто.

$$L_{П} = \frac{K_{П} V_{П}}{Q e_{П}} 10^4,$$

де $K_{П}$ – коефіцієнт, який враховує 10–20 %-ний запас піску; $V_{П}$ – сумарна місткість пісочних бункерів локомотива, м³; $e_{П}$ – норма витрат піску, м³/ 10^6 т-км брутто.

Окрім того, відстань, яку може проходити локомотив, обмежується необхідністю виконання його технічного обслуговування (ТО-1 або ТО-2), яке призначене для попередження появи несправностей локомотивів під час експлуатації, підтримання його в працездатному стані, забезпечення безпечної експлуатації, пожежної безпеки та безаварійної роботи.

Технічне обслуговування ТО-1 виконується локомотивними бригадами під час приймання локомотива та під час стоянок. При виконанні ТО-1 локомотивна бригада перевіряє технічний стан найбільш відповідальних вузлів локомотива. Враховуючи, що виконавцем ТО-1 є локомотивна бригада, то вказаний вид ТО не обмежує величину пробігу локомотива.

У ході технічного обслуговування ТО-2 виконуються операції з перевірки та огляду вузлів і систем локомотива, у тому числі екіпажної (ходової) частини, гальмівного, електричного і допоміжного обладнання, дизеля, радіостанції й інших пристроїв забезпечення безпеки руху.

Технічне обслуговування ТО-2 поїзних локомотивів проводиться у пунктах технічного обслуговування (ПТО), які мають штат слюсарів і, як правило, містяться в критих приміщеннях, оснащених оглядовими канавами, естакадами й іншим необхідним обладнанням, пристосуванням та інструментами.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Технічне обслуговування поїзних локомотивів ТО-2 при закріпленій їзді виконується слюсарями, за участю закріпленої локомотивної бригади.

Відстань, яку може пройти локомотив між ТО-2, може бути визначена за виразом:

$$L_{\text{ТО2}} = \frac{(T_{\text{ТО2}} - t_{\text{сн}} - t_{\text{св}}^{\text{пр}} - t_{\text{св}}^{\text{вд}}) t_{\text{лб}}^{\text{н}} v_{\text{д}}}{t_{\text{зм}} + t_{\text{лб}}^{\text{н}}},$$

де $T_{\text{ТО2}}$ – встановлена тривалість пробігу тепловозів між ТО-2; $t_{\text{сн}}$ – тривалість знаходження локомотива на станції навантаження; $v_{\text{д}}$ – дільнична швидкість; $t_{\text{св}}^{\text{пр}}$, $t_{\text{св}}^{\text{вд}}$ – тривалість знаходження локомотива на станції вивантаження відповідно від моменту прибуття до моменту здачі локомотива та від моменту закінчення ТО-2 до відправлення.

$t_{\text{н}}$ – тривалість знаходження локомотива на станції зміни локомотивної бригади; $t_{\text{лб}}^{\text{н}}$ – допустима тривалість знаходження бригади на шляху прямування:

$$t_{\text{лб}}^{\text{н}} = T_{\text{лб}}^{\text{н}} - t_{\text{пр}} - t_{\text{зд}},$$

$T_{\text{лб}}^{\text{н}}$ – норма тривалості неперервної роботи локомотивних бригад; $t_{\text{пр}}$, $t_{\text{зд}}$ – витрати часу на приймання та здавання локомотива відповідно.

Враховуючи, що тривалість пробігу тепловозів між ТО-2 на Укрзалізниці згідно з наказами начальників залізниць складає 24–78 годин, то пробіг тепловозів між ТО-2 може складати до 2 500 км. Результати розрахунків максимальних відстаней між припортовими станціями вивантаження та станціями навантаження для тепловозної та електровозної тяги зведені в табл. 3, де в чисельнику вказані можливі відстані пробігу локомотива із завантаженням, а у знаменнику – з порожніми вагонами.

Враховуючи те, що навіть відстані транзитних залізничних перевезень вантажів по Україні у напрямку «Північ–Південь» складають 800–1 100 км, то технічно можливо організувати доставку значної частини підлягаючих маршрутом вантажів у порти тепловозною тягою, з улаштуванням інфраструктури локомотивного господарства на припортових станціях та

пунктів екіпірування піском – на станціях навантаження. Дальність пробігу електровозів при виконанні ТО-2 на припортовій станції складає 1 250 км, що дозволяє виконувати доставку вантажів у порти з переважної частини мережі зі змінним струмом у контактній мережі.

Іншою важливою задачею, яку повинні будуть вирішувати незалежні перевізники, є організація роботи локомотивних бригад та забезпечення режиму їх роботи та відпочинку. Згідно з [9] тривалість безперервної роботи локомотивних бригад становить 7 годин. В окремих випадках може встановлюватись тривалість безперервної роботи більше 7 годин, але не більше 12 годин. Для виконання вказаних вимог довжина дільниць роботи локомотивних бригад повинна складати біля 300 км і може досягати 500 км при тривалості роботи бригади у 12 годин. У зв'язку з цим на маршруті перевезень між станцією навантаження та припортовою станцією вивантаження перевізниками повинні бути передбачені зупинки поїздів на станціях для зміни локомотивних бригад, а також необхідний штат та інфраструктура – для забезпечення їх роботи та відпочинку. Відстань, яку може проїжджати локомотивна бригада з поверненням у пункт відправлення, складає до 150–200 км. Можливі схеми обігу тепловозів та локомотивних бригад, що їх обслуговують, наведені на рис. 3. Схеми роботи електровозів в аналогічні за виключенням того, що при роботі за схемою, що зображена на рис. 3, в відстань між станціями А та М може досягати 1 000 км, крім того, немає потреби у спорудженні пункту екіпірування піском у пункті А.

Наукова новизна и практична значимість

Наукова новизна роботи полягає в тому, що в ній отримані схеми обігу локомотивів та локомотивних бригад незалежних перевізників під час обслуговування ними морських портів.

Практична значимість роботи полягає в оцінці потреби у локомотивній інфраструктурі, яка виникне при відкритті ринку залізничних перевезень для незалежних перевізників.

Таблиця 3

Визначення максимальних відстаней між припортовими станціями вивантаження та станціями навантаження для тепловозної та електровозної тяги

Table 3

Determination of maximum distances between port unload stations and load stations for diesel and electric traction

Тип локомотива	Екіпірування паливом та ТО-2	Екіпірування піском	Відстань пробігу, км			
			паливо	пісок	ТО-2	L_{MA}
Тепловоз	На припортовій станції	На припортовій станції	$\frac{977}{977}$	$\frac{655}{655}$	$\frac{1250}{1250}$	655
	На припортовій станції	На припортовій станції і на станції навантаження	$\frac{977}{977}$	$\frac{822}{3219}$	$\frac{1250}{1250}$	822
	На припортовій станції і на станції навантаження	На припортовій станції і на станції навантаження	$\frac{1706}{2690}$	$\frac{822}{3219}$	$\frac{2500}{2500}$	822
Електровоз	На припортовій станції	На припортовій станції	–	$\frac{1755}{1755}$	$\frac{1250}{1250}$	1250
	На припортовій станції	На припортовій станції і на станції навантаження	–	$\frac{2203}{8627}$	$\frac{1250}{1250}$	1250
	На припортовій станції і на станції навантаження	На припортовій станції і на станції навантаження	–	$\frac{2203}{8627}$	$\frac{2500}{2500}$	2203

Примітка: *– у чисельнику вказані можливі відстані пробігу локомотива із завантаженням, а у знаменнику – порожніми вагонами.

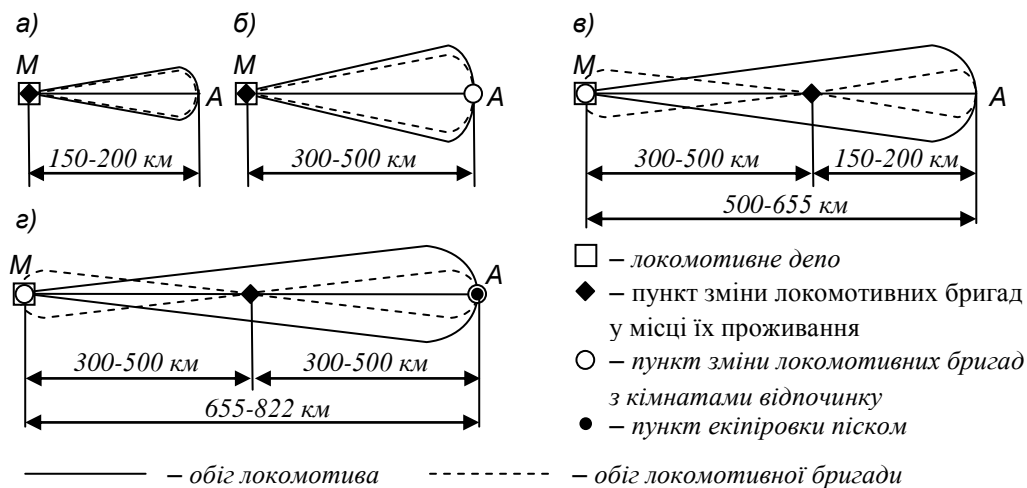


Рис. 3. Схеми організації роботи тепловозів та локомотивних бригад незалежних перевізників

Fig. 3. Work organization schemes of locomotives and locomotive brigades of independent carriers

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Висновки

Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

– прийняті Україною згідно з Угодою про асоціацію між Україною та Європейським Союзом зобов'язання ставлять задачі демонополізації ринку залізничних перевезень і допуску до нього незалежних перевізників. Такий крок покликаний створити конкурентне середовище у цьому секторі транспортного ринку та зробити його привабливим для інвесторів;

– однією із задач, яка стоятиме перед незалежними перевізниками буде забезпечення перевезень локомотивною інфраструктурою;

– виконані дослідження показують, що одним із можливих напрямків роботи незалежних перевізників буде забезпечення перевезень експортних вантажів у морські порти;

– встановлено, що тепловози незалежних перевізників зможуть обслуговувати перевезення між станціями навантаження та вивантаження до 822 км, а електровози до 1 000 км із спорудженням основної частини локомотивної інфраструктури на припортовій станції. Виконані розрахунки показують потенційну можливість охоплення незалежними перевізниками залізничних перевезень у морські порти, з використання виключно власної локомотивної інфраструктури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баланов, В. О. Анализ факторов, влияющих на обеспечение движения грузовых поездов по расписанию / В. О. Баланов // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 10. – С. 5–9. doi: 10.15802/tstt2015/57057.
2. Березовый, Н. И. Перевозка металлургической продукции кольцевыми маршрутами по расписанию с использованием частных локомотивов / Н. И. Березовый // Восточно-Европ. журн. передовых технологий. – 2014. – Т. 2, № 3 (68). – С. 51–55.
3. Вернигора, Р. В. Розробка оперативного плану роботи локомотивного парку на основі багатокритеріальної задачі про призначення / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 10. – С. 23–28. doi: 10.15802/tstt2015/57062.
4. Визначення енергозощаджуючих режимів розгону поїздів / Б. Є. Боднар, М. І. Капіца, А. М. Афанасов, Д. М. Кислий // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 5 (59). – С. 40–52. doi: 10.15802/stp2015/55359.
5. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги : Тарифне керівництво № 1. – Київ : Укрзалізниця, 2009. – 200 с.
6. Козаченко, Д. Н. Перспективы использования частной локомотивной тяги на магистральном железнодорожном транспорте Украины / Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый // Укр. залізниця. – 2013. – № 1. – С. 50–54.
7. Козлов, П. А. Модель оптимального графика оборота поездных локомотивов / П. А. Козлов, С. П. Вакуленко // Вестн. ВНИИЖТа. – 2015. – № 2. – С. 15–20.
8. Методика розрахунку норм витрат дизельного пального і електроенергії на тягу поїздів : ЦТ-0099 : затв. наказ. Укрзалізниця від 09.06.2004 р. № 113-Ц / М-во транспорту України, Держадміністрація залізничного транспорту, Укрзалізниця. – Київ : Укрзалізниця, 2004. – 56 с.
9. Особливості регулювання робочого часу і часу відпочинку окремих категорій працівників, безпосередньо пов'язаних із забезпеченням безпеки руху поїздів і обслуговуванням пасажирів на залізницях і метрополітенах України : наказ Укрзалізниця від 10.03.1994 р. № 40-Ц. – Київ : Укрзалізниця, 1994. – 12 с.
10. Пояснювальна записка до консолідованого проекту фінансового плану ПАТ «Українська залізниця» на 2017 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/news/29134.html>. – Назва з екрана. – Перевірено : 30.11.2017.
11. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – Москва : Транспорт, 1985. – 287 с.
12. Продашук, С. М. Нова концепція тарифної політики для внутрішніх залізничних вантажних перевезень / С. М. Продашук, Г. Є. Богомазова, Р. А. Пурий // Зб. наук. пр. Укр. держ. ун-ту залізн. трансп. – Харків, 2016. – Вип. 164. – С. 161–169.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

13. Тепловоз 2ТЭ116 / С. П. Филонов, А. И. Гибалов, Е. А. Никитин [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1996. – 334 с.
14. Электровоз ВЛ80т. Руководство по эксплуатации / под ред. Б. Р. Бондаренко. – Москва : Транспорт, 1977. – 568 с.
15. Bodnar, B. Improving Operation and Maintenance of Locomotives of Ukrainian Railways / B. Bodnar, A. Ochkasov, D. Bobyr // *Technologijos ir Menas = Technology and Art*. – 2016. – № 7. – P. 109–114.
16. Butko, T. An improved method of determining the schemes of locomotive circulation with regard to the technological peculiarities of railcar traffic / T. Butko, A. Prokhorchenko, M. Muzykin // *Восточно-Европ. журн. передовых технологий*. – 2016. – Т. 5, № 3 (83). – С. 47–55. doi: 10.15587/1729-4061.2016.80471.
17. Evaluation of the transition to the organization of freight trains traffic by the schedule / D. Kozachenko, R. Vernigora, V. Balanov, N. Berezovy, L. Yelnikova, Yu. Germanyuk // *Transport problems*. – 2016. – Vol. 11. – Iss. 1. – P. 41–48. doi: 10.20858/tp.2016.11.1.4.
18. Grushevska, K. Institutional railreform: The case of Ukrainian Railways / K. Grushevska, T. Notteboom, A. Shkliar // *Transport Policy*. – 2016. – Vol. 46. – P. 7–19. doi: 10.1016/j.tranpol.2015.11.001.
19. Laisi, M. Stimulating competition in the liberalized railway freight market / M. Laisi, M. Mäkitalo, O.-P. Hilmola // *Baltic Journal of Management*. – 2012. – Vol. 7, No. 1. – P. 68–85. doi: 10.1108/17465261211195865.
20. Laurino, A. The economic regulation of railway networks: A worldwide survey / A. Laurino, F. Ramellab, P. Beria // *Transportation Research. Part A: Policy and Practice*. – 2015. – Vol. 77. – P. 202–212. doi: 10.1016/j.tra.2015.04.011.
21. Link, H. Rail infrastructure charging and on-track competition in Germany / H. Link // *Intern. Journal of Transport Management*. – 2004. – Vol. 2. – Iss. 1. – P. 17–27. doi: 10.1016/j.ijtm.2004.05.002.
22. Mäkitalo, M. Market entry barriers in Finland's rail freight transport / M. Mäkitalo // *World Review of Intermodal Transportation Research*. – 2010. – Vol. 3, No. 1/2. – P. 181–195.
23. Pittman, R. Options for Restructuring the State-Owned Monopoly Railway / R. Pittman // *Research in Transportation Economics*. – 2007. – Vol. 20. – P. 179–198. doi: org/10.1016/S0739-8859(07)20007-1.
24. Pittman, R. Reforming and restructuring Ukrzaliznytsia: a crucial task for Ukrainian reformers / R. Pittman // *Наука та прогрес транспорту*. – 2017. – № 1 (67). – С. 34–50. doi: 10.15802/stp2017/92775.
25. Slack, B. Challenges confronting new traction providers of rail freight in Germany / B. Slack, A. Vogt // *Transport Policy*. – 2007. – Vol. 14. – P. 399–409. doi: 10.1016/j.tranpol.2007.04.003.

Д. Н. КОЗАЧЕНКО^{1*}, А. Б. ОЧКАСОВ^{2*}, А. П. ШЕПОТЕНКО^{3*}, Н. М. САННИЦКИЙ^{4*}

^{1*}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 kozachenko@upr.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

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

^{3*}Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, эл. почта sthorn@ua.fm, ORCID 0000-0003-4349-1674

^{4*}Львовский колледж транспортной инфраструктуры, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Снопковская, 47, Львов, 79011, тел. +38 (032) 276 14 90, эл. почта nazar_ltzt@ukr.net, ORCID 0000-0003-0254-7301

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТНЫХ ЛОКОМОТИВОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ В НАПРАВЛЕНИИ МОРСКИХ ПОРТОВ

Цель. В настоящее время магистральный железнодорожный транспорт Украины находится полностью в государственной собственности. Украина взяла на себя обязательства по имплементации Директив Европейского Союза, предусматривающих недискриминационный допуск к железнодорожной инфраструктуре независимых перевозчиков. Значительное количество факторов существенно влияет на условия работы независимых от Укрзализныци перевозчиков. Одной из задач, возникающих при выполнении перевозок независимыми перевозчиками, является организация работы частных локомотивов и их обслуживание локомо-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

тивними бригадами. Целью статті є оцінка технічних можливостей використання частних локомотивів для виконання перевозок вантажів в напрямленні морських портів. **Методика.** Исследования выполнены на основе методов организации эксплуатационной работы железных дорог и методов тяговых расчетов. **Результаты.** В работе рассмотрена проблема организации перевозок грузов в морские порты независимыми перевозчиками. Определены потребности в экипировочных материалах для тепловозов и электровозов в зависимости от расстояния перевозок. Также определены допустимые расстояния, которые могут обслуживать локомотивные бригады при выполнении требований по продолжительности их непрерывной работы. Разработаны схемы расположения инфраструктурных объектов для обеспечения работы локомотивов и локомотивных бригад. Установлено, что тепловозы независимых перевозчиков смогут обслуживать перевозки между станциями погрузки и выгрузки до 822 км, а электровозы – до 1000 км с сооружением основной части локомотивной инфраструктуры на припортовой станции. Выполненные расчеты показывают потенциальную возможность охвата независимыми перевозчиками железнодорожных перевозок в морские порты с использованием исключительно собственной локомотивной инфраструктуры. Для уточнения длины плеч обслуживания локомотивами поездов и локомотивов локомотивными бригадами необходимо выполнять дополнительные расчеты на основе детальных профилей участков обслуживания. **Научная новизна.** В исследовании получены схемы обращения локомотивов и локомотивных бригад независимых перевозчиков при обслуживании ими морских портов. **Практическая значимость.** Результаты работы позволяют оценить потребности в локомотивной инфраструктуре, которые возникнут при открытии рынка железнодорожных перевозок для независимых перевозчиков.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; грузовые перевозки; локомотив; реструктуризация железных дорог; организация перевозок

D. M. KOZACHENKO^{1*}, O. B. OCHKASOV^{2*}, A. P. SHEPOTENKO^{3*},
N. M. SANNYTSKYI^{4*}

^{1*}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 kozachenko@upp.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

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

^{3*}Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, e-mail sthorn@ua.fm, ORCID 0000-0003-4349-1674

^{4*}Lviv College of Transport Infrastructure, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Snopkovska St., 47, Lviv, Ukraine, 79011, tel. +38 (032) 276 14 90 e-mail nazar_tzt@ukr.net, ORCID 0000-0003-0254-7301

PROSPECTS OF THE PRIVATE LOCOMOTIVES USAGE FOR GOODS TRAFFIC IN THE DIRECTION OF SEA PORTS

Purpose. At the present time, Ukraine's mainline railway transport is entirely in state ownership. Ukraine has undertaken to implement the European Union Directives providing of non-discriminatory access to the railway infrastructure of independent carriers. A considerable quantity of options significantly affects the working conditions of carriers that do not depend on Ukrzaliznytsia. One of the tasks that arises when performing transportation by independent carriers is the organization of private locomotives operation and their servicing by engine crews. The purpose of the article is to evaluate the technical characteristic of the private locomotives usage in order to perform goods traffic in the direction of sea ports. **Methodology.** The researches were carried out on the basis of methods for organizing the operational work of railways and methods of traction calculations. **Findings.** The paper highlights the problem of goods traffic organization to seaports by independent carriers. It determines the requirements for equipment for diesel locomotives and electric locomotives depending on the distance of transportation. Permissible distances that can be served by engine crews in performing the requirements for the duration of their continuous operation were also determined. Schemes of infrastructure objects location for the locomotives and engine crews operation have been developed. It was established that diesel locomotives of independent carriers will be able to serve transportation between loading and unloading stations up to 822 km, and electric locomotives up to 1000 km with

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

the construction of the main part of the locomotive infrastructure at the port station. The performed calculations show the potential coverage of rail transportation to sea ports by independent carriers with the use of its own locomotive infrastructure. To define more exactly the haul length of train servicing by locomotives and locomotives by engine crews, it is necessary to perform additional calculations based on detailed service section profiles. **Originality.** Access circuitry of locomotives and engine crews of independent carriers when servicing sea ports by them were obtained. **Practical value.** The results of the research allow evaluating the needs in the locomotive infrastructure that arise at opening of the rail market for independent carriers.

Keywords: railway transport; freight transportations; locomotive; railway restructuring; organization of transportation

REFERENCES

1. Balanov, V. (2015). Analysis of factors affecting the provision of freight trains on timetable. *Collection of scientific works of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan «Transport System and Transportation Technologies»*, 10, 5-9. doi: 10.15802/tstt2015/57057. (in Russian)
2. Berezovy, M. I. (2014). Transport of metal product circular route scheduled with the use of private locomotives. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(68), 51-55. (in Russian)
3. Vernigora, R., & Elnikova, L. (2015). Design of operational work plan of locomotive park on the basis of multicriterial assignment problem. *Collection of scientific works of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan «Transport System and Transportation Technologies»*, 10, 23-28. doi:10.15802/tstt2015/57062. (in Ukrainian)
4. Bodnar, B. Y., Kapitsa, M. I., Afanasov, A. M., & Kyslyi, D. N. (2015). Definition of energy saving acceleration modes of trains. *Science and Transport Progress*, 5(59), 40-52. doi: 10.15802/stp2015/55359. (in Ukrainian)
5. *Zbirnyk taryfiv na perevezennia vantazhiv zaliznychnym transportom u mezhakh Ukrainy ta poviazani z nymy posluhy: Taryfne kerivnytstvo No. 1.* (2009). Kyiv: «Ukrzaliznytsia». (in Ukrainian)
6. Kozachenko, D. N., Vernigora, R. V., & Berezovy, N. I. (2013). Perspektivy ispolzovaniya chastnoy lokomotivnoy tyagi na magistralnom zheleznodorozhnom transporte Ukrainy. *Ukrainski zaliznytsi*, 1, 50-54. (in Russian)
7. Kozlov, P. A., & Vakulenko, S. P. (2015). Simulation Model to Optimize Turnover Schedule for Train Locomotives. *Vestnik VNIIZHT «Vestnik of the Railway Research Institute»*, 2, 15-20. (in Russian)
8. *Metodyka rozrakhunku norm vytrat dyzelnoho palnoho i elektroenerhii na tiahу poizdiv.* (2004). TsT-0099: nakaz Ukrzaliznytsi No. 113-TS. Kyiv: Ukrzaliznytsia. (in Ukrainian)
9. Osoblyvosti rehuliuвання robochoho chasu i chasu vidpochynku okremykh katehorii pratsivnykiv, bezposeredno poviazanykh iz zabezpechenniam bezpeky rukhu poizdiv i obsluhovuvanniam pasazhyriv na zaliznytsiakh i metropolitenakh Ukrainy. No. 40-Ts. (1994). (in Ukrainian)
10. Piasnuvalna zapyska do konsolidovanoho proektu finansovoho planu PAT «Ukrainska zaliznytsia» na 2017 rik. Retrieved from <https://mtu.gov.ua/news/29134.html>. (in Ukrainian)
11. *Pravila tyagovykh raschetov dlya poyezdnoy raboty.* (1985). Moscow: Transport. (in Russian)
12. Prodachuk S., Bogomazova G., & Puri R. (2016). The new concept of tariff policy for internal rail freight. *Collected scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport*, 164, 161-169. (in Ukrainian)
13. Filonov, S. P., Gibalov, A. I., & Nikitin, Ye. A (1996). *Teplovoz 2TE116.* Moscow: Transport. (in Russian)
14. Bondarenko, B. R. (Ed.). (1997). *Elektrovoz VL80t. Rukovodstvo po ekspluatatsii.* Moscow: Transport. (in Russian)
15. Bodnar, B., Ochkasov, A., & Bobyr, D. (2016). Improving Operation and Maintenance of Locomotives of Ukrainian Railways. *Technologijos ir Menas = Technology and Art*, 7, 109-114. (in English)
16. Butko, T., Prokhorchenko A., & Muzykin, M. (2016). An improved method of determining the schemes of locomotive circulation with regard to the technological peculiarities of railcar traffic. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(3(83)), 47-55. doi: 10.15587/1729-4061.2016.80471. (in English)
17. Kozachenko, D., Vernigora, R., Balanov, V., Berezovy, N., Yelnikova, L., & Germanyuk, Yu. (2016). Evaluation of the transition to the organization of freight trains traffic by the schedule. *Transport Problems*, 11(1), 41-48. doi: 10.20858/tp.2016.11.1.4. (in English)
18. Grushevska, K., Notteboom, T., & Shkliar, A. (2016). Institutional railreform: The case of Ukrainian Railways. *Transport Policy*, 46, 7-19. doi:10.1016/j.tranpol.2015.11.001. (in English)

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

19. Laisi, M., Mäkitalo, M., & Hilmola, O.-P. (2012). Stimulating competition in the liberalized railway freight market. *Baltic Journal of Management*, 7(1), 68-85. doi:10.1108/17465261211195865. (in English)
20. Laurino, A., Ramellab, F., & Beria, P. (2015). The economic regulation of railway networks: A worldwide survey. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 202-212. doi: 10.1016/j.tra.2015.04.011. (in English)
21. Link, H. (2004). Rail infrastructure charging and on-track competition in Germany. *International Journal of Transport Management*, 2(1), 17-27. doi: 10.1016/j.ijtm.2004.05.002. (in English)
22. Mäkitalo, M. (2010). Market entry barriers in Finland's rail freight transport. *World Review of Intermodal Transportation Research*, 3(1/2), 181-195. (in English)
23. Pittman, R. (2007). Options for Restructuring the State-Owned Monopoly Railway. *Research in Transportation Economics*, 20, 179-198. doi: 10.1016/S0739-8859(07)20007-1. (in English)
24. Pittman, R. (2017). Reforming and restructuring Ukrzaliznytsia: a crucial task for Ukrainian reformers. *Science and Transport Progress*, 1(67), 34-50. doi: 10.15802/stp2017/92775. (in English)
25. Slack, B., & Vogt, A. (2007). Vogt Alexander Challenges confronting new traction providers of rail freight in Germany. *Transport Policy*, 14, 399-409. doi: 10.1016/j.tranpol.2007.04.003. (in English)

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. Б. Є. Боднарем (Україна);
д.т.н., проф. Є. С. Альошинським (Україна)

Надійшла до редколегії: 02.09.2017

Прийнята до друку: 15.11. 2017

УДК 629.424.2

А. Я. КУЗИШИН^{1*}, А. В. БАТІГ^{2*}^{1*} Львівський НДІ судових експертиз, вул. Липинського, 54, Львів, Україна, 79024, тел. +38 (032) 231 76 13, тел. +38 (032) 231 70 61, ел. пошта kuzyshyn1993@gmail.com, ORCID 0000-0002-3012-5395^{2*} Львівський НДІ судових експертиз, вул. Липинського, 54, Львів, Україна, 79024, тел. +38 (032) 231 76 13, ел. пошта batigasha1992@gmail.com, ORCID 0000-0003-1205-6004**ПОБУДОВА МЕХАНІЧНОЇ МОДЕЛІ ВАГОНА ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА ДПКр-2 ТА ЇЇ ОСОБЛИВОСТІ**

Мета. На основі аналізу конструкції екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2 виробництва Крюківського вагонобудівного заводу в роботі передбачається побудувати його механічну модель, яка буде використана при дослідженні динамічних властивостей екіпажу, з максимальним відображенням особливостей конструкції та способів навантаження. **Методика.** Пневматична ресора механічної моделі вагона дизель-поїзда ДПКр-2, як основний елемент центрального ресорного підвішування, моделюється за допомогою вузла Кельвіна-Фойгта. Даний вузол включає в себе паралельно розташовані пружний та в'язкий елементи. Гідрравлічні гасники коливань, які використовуються як у центральному, так і в буксовому ресорному підвішуванні, моделювались як в'язкий елемент. При проведенні досліджень жорсткість пневматичної ресори, яка пов'язана зі зміною її ефективної площі при деформації, приймалась рівною нулю. **Результати.** У даній статті проведено аналіз конструкції екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2. Наведені механічні моделі його основних вузлів, а саме: у центральному ресорному підвішуванні – модель пневматичної ресори. Враховуючи особливості конструкції екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2, була розроблена його механічна модель, яка в подальшому використана при дослідженні динамічних властивостей екіпажів. **Наукова новизна.** Вперше для вагона дизель-поїзда ДПКр-2 розроблена механічна модель із урахуванням особливостей взаємодії окремих елементів його конструкції. Було запропоновано як пневматичну ресору використати вузол Кельвіна-Фойгта, що включає в себе паралельно розташовані пружний та в'язкий елементи. **Практична значимість.** На основі запропонованої механічної моделі буде складено систему звичайних диференціальних рівнянь руху екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2 (математична модель). Цю модель у подальшому планується використовувати при дослідженні динамічної взаємодії колісної пари екіпажної частини вагона дизель-поїзда з рейковою колією на прямих та кривих ділянках колії.

Ключові слова: дизель-поїзд; механічна модель; математична модель; пневматична ресора; ресорне підвішування

Вступ

Взаємодія колії та рухомого складу представляє собою одну з актуальних проблем залізничного транспорту, яка включає велике число практичних запитань. Задачі, які вирішуються при дослідженні взаємодії колії та рухомого складу, стосуються і такого важливого питання, як визначення умов безпечного руху поїздів.

Крюківським вагонобудівним заводом для забезпечення приміського пасажирського сполучення на ділянках залізниць із малими пасажиропотоками колії 1 520 мм України, країн СНД, Латвії, Литви й Естонії був побудований дизель-поїзд ДПКр-2 [2].

Для перевірки відповідності характеристик розробленого дизель-поїзда вимогам нормативної документації Укрзалізниці було проведено

декілька типів випробувань. Випробування щодо впливу на колію та стрілочні переводи проведені лабораторією у серпні 2014 року на магістральних коліях Придніпровської залізниці.

Метою даних випробувань була оцінка впливу дизель-поїзда ДПКр-2 на залізничну колію і стрілочні переводи та визначення допустимих швидкостей руху по залізничних коліях Державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1 520 мм [11].

За результатами випробувань були встановлені максимально допустимі швидкості руху дизель-поїзда ДПКр-2 по конструкціях залізничної колії шириною 1 520 мм.

Однак, теоретичних досліджень силової взаємодії дизель-поїзда ДПКр-2 з рейковою колією та методик теоретичного визначення основних показників динамічних якостей меха-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

нічної частини даного дизель-поїзда немає. У зв'язку з цим у даній роботі буде розроблятися механічна модель вагона дизель-поїзда з урахуванням основних особливостей конструкції екіпажної частини.

Мета

На основі аналізу конструкції екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2 виробництва Крюківського вагонобудівного заводу побудувати його механічну модель, яка буде використана при дослідженні динамічних властивостей екіпажу. При побудові механічної моделі максимально відобразити особливості конструкції та способи її навантаження.

Методика

На основі аналітичного методу був проведений аналіз конструкції екіпажної частини та побудована просторова кінематична схема вагона, яка буде використовуватися при складанні математичної моделі.

Визначаємо, що дизель-поїзд представляє собою самохідну транспортну одиницю постійного формування, яка складається з головних вагонів, з кабінами управління (на початку і в кінці поїзда) і проміжним вагоном, розташованим між ними (рис. 1).

Головні і проміжні вагони дизель-поїзда обладнані двома двовісними візками:

- а) приводний візок (рис. 2);
- б) не приводний візок (рис. 3).

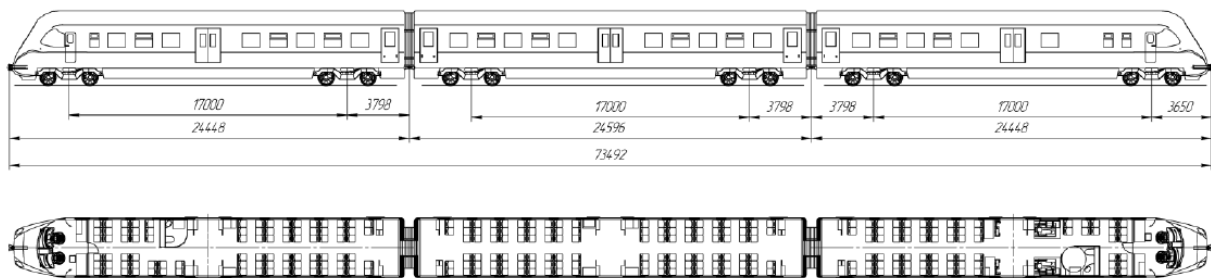


Рис. 1. Схема вагонів пасажирського дизель-поїзда ДПКр-2 для приміського сполучення

Fig. 1. Scheme of cars of passenger diesel-train DTKr-2 for suburban traffic

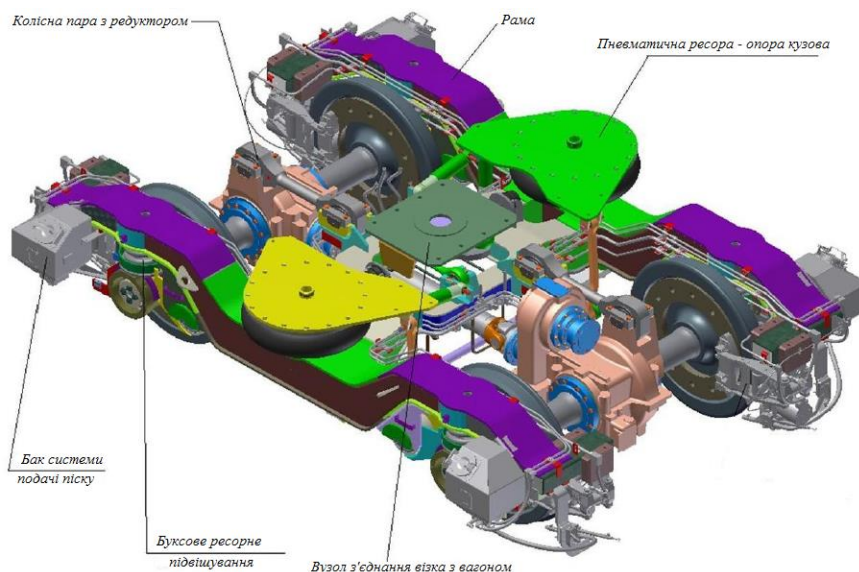


Рис. 2. Основні вузли приводного візка

Fig. 2. The main units of the geared bogie

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

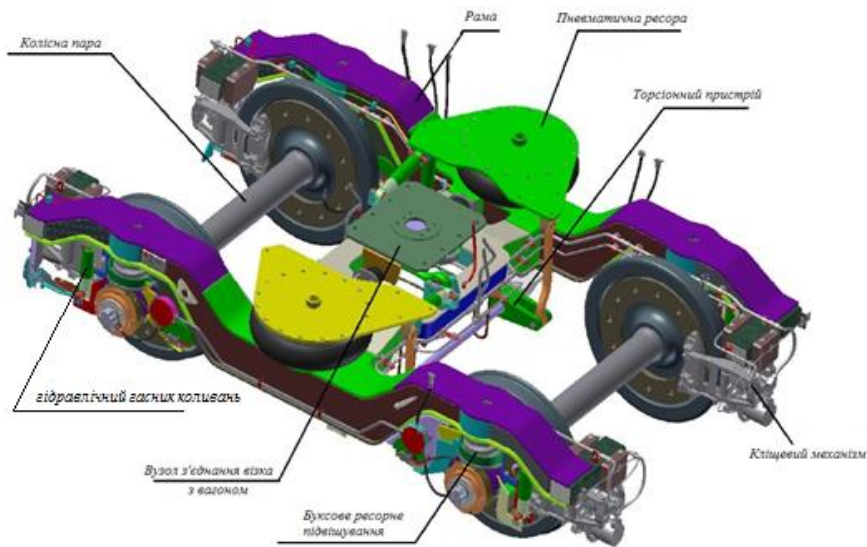


Рис. 3. Основні вузли неприводного візка

Fig. 3. The main units of non-geared bogie

Візки мають двоступеневе ресорне підвішування:

- первинне – з використанням циліндричних пружин;
- вторинне – з використанням пневматичних ресор.

Візки складаються з наступних елементів:

- осьових редукторів (тільки для приводних візків);
- колісних пар;
- рами;
- буксового (первинного) ресорного підвішування;
- центрального (вторинного) ресорного підвішування;

- гідравлічних гасників коливань;
- вузла з'єднання візка з кузовом вагона і передачі поздовжніх зусиль;
- елементів з'єднання буксових вузлів колісної пари з рамою візка;
- стабілізатора бокового коливання.

Буксове ресорне підвішування візка складається з комплекту з трьох пружин з послідовно розташованими еластичними елементами, а також гасників коливань (рис. 4). Центральне ресорне підвішування складається з двох пневматичних ресор, двох вертикальних та двох горизонтальних гасників коливань (рис. 5).

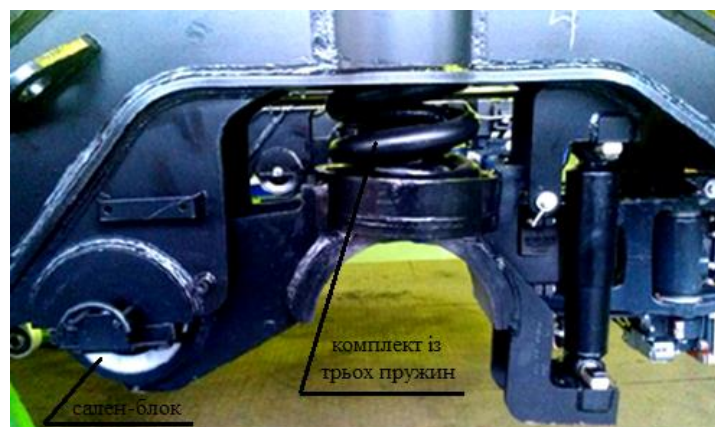


Рис. 4. Буксова ступінь ресорного підвішування

Fig. 4. Axle-box stage of spring suspension

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ



Рис. 5. Центральна ступінь ресорного підвішування

Fig. 5. Central stage of spring suspension

Пневматичні ресори конструктивно представляють собою резинокордну оболонку, яка заповнена в робочому стані стисненим повітрям з робочим тиском до 0,7 МПа. Вона складається з: кріпильних болтів ущільнювального кільця 1, зажиму плити ковзної 2, болтів ковзаючої плити 3, кріпильної плити 4, ущільнювального кільця 5, ковзної плити 6, подушки 7, нижньої плити 8, болтів нижньої плити 9, додаткової ресори 10 (рис. 6). Випробування рухомого складу з пневматичним ресорним підвішуванням показали, що незважаючи на практично однакові можливості гвинтових циліндричних пружин і пневматичних ресор у збільшенні статичного прогину, останні мають віброзахисні властивості і збільшують комфортність перевезення пасажирів [8, 13, 15]. Для зниження вертикальної жорсткості пневматичну ресору з'єднують з додатковим резервуаром, обсяг якого зазвичай більший основного обсягу пневматичної ресори [1, 6, 14]. Існує декілька типів систем пневматичних ресор [1, 7, 12, 16], (наприклад, пневматична ресора з одним або двома додатковими резервуарами), а їх динамічні властивості зручно описувати за механічною еквівалентною моделлю [4, 8, 9].

Проводячи аналіз конструкції екіпажної частини дизель-поїзда ДПКр-2, представимо еквівалентну механічну модель його пневматичної ресори (рис. 7), [10].

Дана модель є вузлом Кельвіна–Фойгта, який включає до себе паралельно розташований пружний елемент з жорсткістю J_{21} та елемент в'язкого тертя з в'язкістю β_{21} .

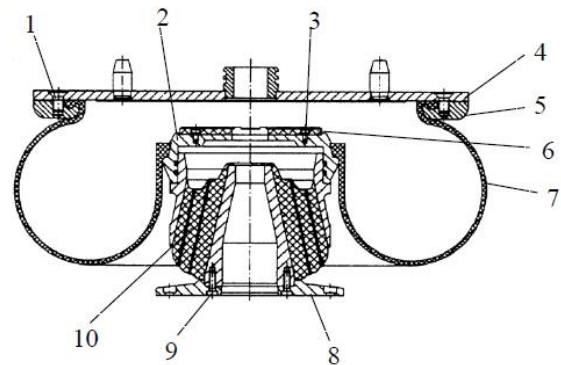


Рис. 6. Пневматична ресора

Fig. 6. Pneumatic springs

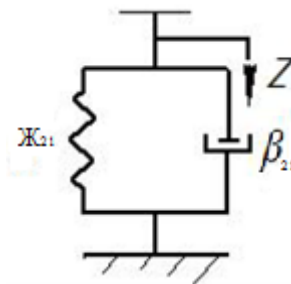


Рис. 7. Механічна модель пневматичної ресори

Fig. 7. Mechanical model of pneumatic spring

Пружина в буксовому ресорному підвішуванні буде моделюватися як лінійний пружний елемент. Гідралічні гасники коливальних, які використовуються як у центральному, так і у буксовому ресорному підвішуванні, моделюються як в'язкий елемент [3, 5].

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Результати

На основі аналізу конструкції екіпажної частини дизель-поїзда ДПКр-2 та обраних механічних моделей його основних частин побудовано механічну модель вагона даного дизель-поїзда (рис. 8, 9, 10). При цьому приймалися наступні позначення: $z_k, y_k, x_k, \varphi_k, \psi_k, \theta_k$ – узагальнені координати кузова; $z_{bi}, y_{bi}, x_{bi}, \varphi_{bi}, \psi_{bi}, \theta_{bi}$ – узагальнені координати візків № 1, 2; $z_{kpi}, y_{kpi}, x_{kpi}, \varphi_{kpi}, \psi_{kpi}, \theta_{kpi}$ – узагальнені координати колісних пар № 1, 2, 3, 4; F_x, F_y – поздовжні та поперечні сили крипа в точці контакту колесо-рейка; β_2 – коефіцієнт затухання вертикального гідравлічного гасника коливань у центральному ресорному підвішванні; \mathcal{J}_{21} – еквівалентна жорсткість пневматичної ресори; β_{21} – еквівалентний коефіцієнт затухання, який визначається перетіканням повітря через дросель; \mathcal{J}_1 – жорсткість пружин

буксового ресорного підвішвання; β_1 – коефіцієнт затухання вертикального гідравлічного гасника коливань при буксовій ступені ресорного підвішвання; $\mathcal{J}_{\text{сал. блок}}$ – жорсткість гумового елемента сален-блоку; β_n – коефіцієнт затухання в колії; \mathcal{J}_n – жорсткість колії; $\mathcal{J}_{2\text{ поп}} = \mathcal{J}_{2\text{ поз}}$ – горизонтальна жорсткість пневматичної ресори у поперечному та поздовжньому напрямку відповідно; $\beta_{2\text{ поп}}$ – коефіцієнт затухання горизонтального гідравлічного гасника коливань в центральному ресорному підвішванні; $\mathcal{J}_{\text{поп}}$ – поперечна жорсткість пружин буксового ступеня ресорного підвішвання; $\mathcal{J}_{\text{тор}}$ – жорсткість торсійного пристрою.

Слід зазначити, що механічна модель є просторова, яка враховує сили взаємодії між колесом та рейкою, а саме, поперечні та поздовжні сили крипа.

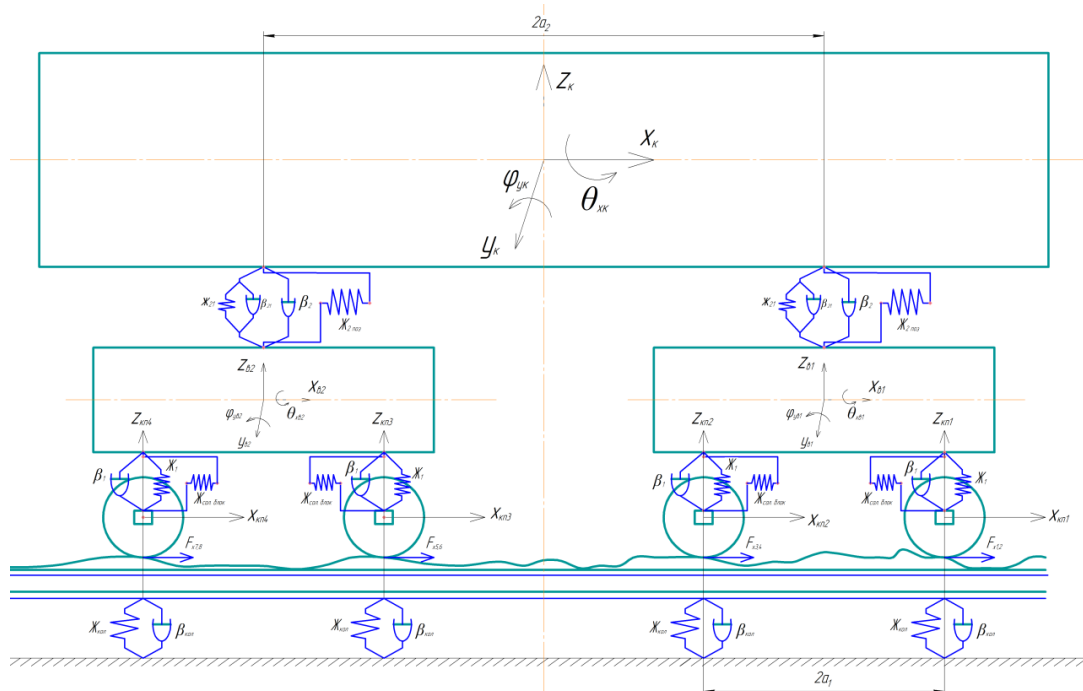


Рис. 8. Механічна модель вагона дизель-поїзда ДПКр-2 в площині ZX

Fig. 8. Mechanical model of the diesel-train DTKr-2 car in the plane ZX

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

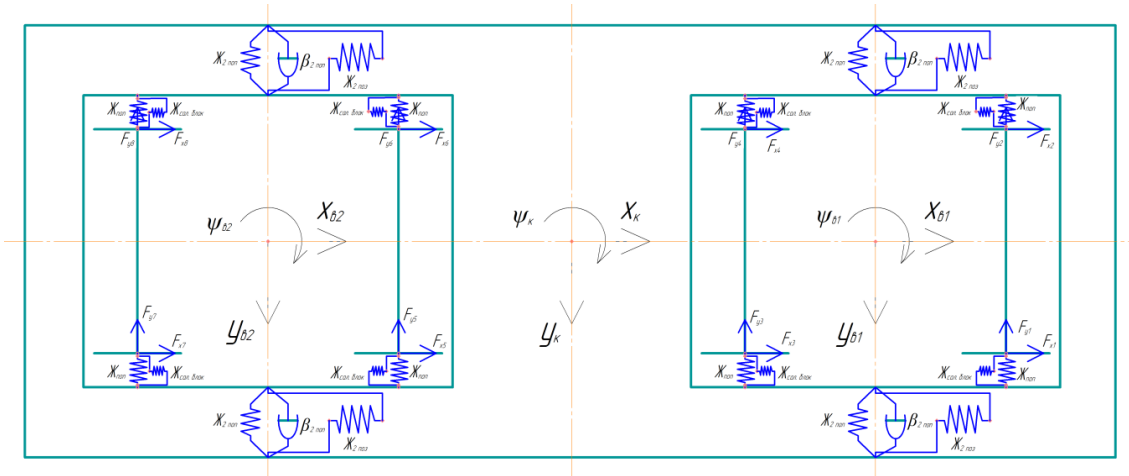


Рис. 9. Механічна модель вагона дизель-поїзда ДПКр-2 в площині YX

Fig. 9. Mechanical model of the diesel-train DTKr-2 car in the plane YX

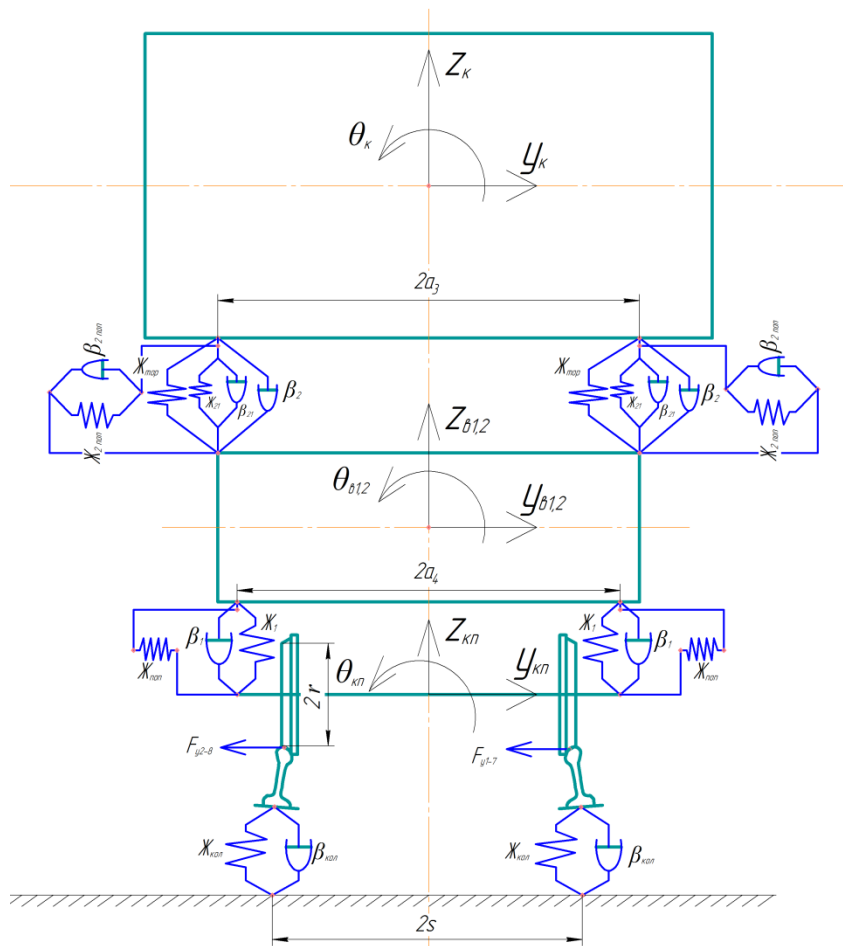


Рис. 10. Механічна модель вагона дизель-поїзда ДПКр-2 в площині ZY

Fig. 10. Mechanical model of the diesel-train DTKr-2 car in the plane ZY

Наукова новизна та практична значимість

Вперше для вагона дизель-поїзда ДПКр-2 була розроблена його механічна модель з урахуванням особливостей взаємодії окремих елементів його конструкції. Було запропоновано за пневматичні ресори використати вузол Кельвіна–Фойгта, який включає до себе паралельно розташовані пружний та в'язкий елементи.

На основі запропонованої механічної моделі буде складено систему звичайних диференціальних рівнянь руху екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2 (математична модель). Цю модель у подальшому планується використовувати при дослідженні динамічної взаємодії колісної пари екіпажної частини вагона дизель-поїзда з рейковою колією у прямих та кривих ділянках колії.

Висновки

1. Проведено аналіз конструкції екіпажної частини вагона дизель-поїзда ДПКр-2.

2. Наведено механічну модель пневматичної ресори, яка буде використовуватися при складанні математичної моделі.

3. З урахуванням особливостей взаємодії окремих елементів конструкції та поставлених задач для подальших досліджень була побудована механічна модель вагона дизель-поїзда ДПКр-2.

4. Напрямок подальших досліджень є створення математичної моделі, яка буде використана при дослідженні динамічної взаємодії дизель-поїзда з рейковою колією на прямих та кривих ділянках колії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горобец, В. Л. Улучшение динамических характеристик тягового подвижного состава с использованием управления гашением энергии колебаний / В. Л. Горобец, Н. П. Снитко, А. Д. Лашко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 36. – С. 7–15.
2. Дизель-поезд пассажирский ДПКр-2 : руководство по эксплуатации ДПКр-2.000.000 РЭ. Ч. 1. – [Б. м.], 2014. – 563 с.
3. Динамика локомотивов : учеб. пособие / М. А. Ибрагимов, В. И. Киселев, В. А. Рамлов, А. В. Скалин. – Москва : РГОТУПС, 2005. – 128 с.
4. Кузнецов, А. В. Колебания железнодорожного экипажа на пневмоподвешивании с учетом собственного демпфирования пневморессор / А. В. Кузнецов, Б. С. Завт // Тр. ВНИИВ. – Москва, 1973. – Вып. 22. – С. 18.
5. Мазнев, А. С. Конструкции и динамика электрического подвижного состава : монография / А. С. Мазнев, А. М. Евстафьев. – Москва : ФГБОУ «Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп.», 2013. – 248 с.
6. Макаренко, Ю. В. Результаты исследования системы пневматического рессорного подвешивания транспортного средства с микропроцессорным направлением / Ю. В. Макаренко, В. Н. Балева, В. Г. Маслиев // Вестн. нац. техн. ун-та «ХПИ». Серия: Информатика и моделирование : сб. науч. тр. – Харьков, 2001. – № 18. – С. 70–83.
7. Мелихов, А. Н. Эффективная система демпфирования пневморессоры скоростного подвижного состава : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Мелихов Александр Николаевич ; Моск. гос. ун-т путей сообщ. – Москва, 1994. – 22 с.
8. Механическая часть тягового подвижного состава : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / И. Б. Бирюков, А. Н. Савойский, Г. П. Бурчак [и др.] ; под ред. И. В. Бирюкова. – Москва : Транспорт, 1992. – 440 с.
9. Наотэру, О. Особенности колебаний и проектирование пневморессор подвешивания железнодорожных экипажей / О. Наотэру, Н. Сэйити // Нихон кикай гаккай ромбунсю. Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. A. – 1969. – No. 273. – С. 35.
10. Рейдемейстер, А. Г. Зависимость свойств пневматической рессоры от пневматического сопротивления дросселя / А. Г. Рейдемейстер, А. В. Кивишева // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 2 (62). – С. 157–164. doi: 10.15802/stp2016/67339.
11. Савлук, В. Історія, досягнення та перспективи колієвипробувальної галузевої науково-дослідної лабораторії ДНУЗТ / В. Савлук // Укр. залізниця. – 2014. – № 10. – С. 50–55.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

12. Создание отечественных пассажирских вагонов на тележках с пневматическим подвешиванием / И. В. Приходько, В. Н. Дузик, С. В. Лутонин [и др.] // Развитие науч. школы трансп. механики : тез. междунар. науч.-техн. конф. (5.12.2013 г.) / Мин-во образования и науки Украины ; Днепрпетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепрпетровск, 2013. – С. 40–45.
13. Iwnicki, S. Handbook of Railway Vehicle Dynamics / S. Iwnicki. – New York : Taylor & Francis Group, 2006. – 527 p. doi: 10.1201/9781420004892.
14. Koshelev, K. B. Modeling of the three-dimensional flow of polymer melt in a convergent channel of rectangular cross-section / K. B. Koshelev, G. V. Pyshnograï, M. Yu. Tolstykh // Fluid Dynamics. – 2015. – Vol. 50. – Iss. 3. – P. 315–321. doi: 10.1134/s0015462815030011.
15. Leichtbau bei Schienfahrzeugen – Bastandsaufnahme und Potenziale // Elek. Bahnen. – 2013. – No. 1. – P. 8–12.
16. Presthrus, M. Derevation of air spring model parameters for train simulation [Електронний ресурс] : Master of Science program / M. Presthrus. – Sweden : Luleå University of Technology, 2002. – 75 p. – Режим доступу: <http://publ.ltu.se/1402-1617/2002/059/LTU-EX-02059-SE.pdf>. – Назва з екрана. – Перевірено : 10.12.2015.

А. Я. КУЗЫШИН^{1*}, А. В. БАТИГ^{2*}

^{1*} Львовский НИИ судебных экспертиз, ул. Липинского, 54, Львов, Украина, 79024, тел. +38 (032) 231 76 13, тел. +38 (032) 231 70 61, эл. почта kuzyshyn1993@gmail.com, ORCID 0000-0002-3012-5395

^{2*} Львовский НИИ судебных экспертиз, ул. Липинского, 54, Львов, Украина, 79024, тел. +38 (032) 231 76 13, эл. почта batigasha1992@gmail.com, ORCID 0000-0003-1205-6004

ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВАГОНА ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА ДПКр-2 И ЕЕ ОСОБЕННОСТИ

Цель. На основе анализа конструкции экипажной части вагона дизель-поезда ДПКр-2 производства Крюковского вагоностроительного завода в работе предполагается построить его механическую модель, которая будет использована при исследовании динамических свойств экипажа, с максимальным отображением особенностей конструкции и способов нагрузки. **Методика.** Пневматическая рессора механической модели вагона дизель-поезда ДПКр-2, как основной элемент центрального рессорного подвешивания, моделируется с помощью узла Кельвина-Фойгта. Данный узел включает в себя параллельно расположенные упругий и вязкий элементы. Гидравлические гасители колебаний, которые используются как в центральном, так и в буксовом рессорном подвешивании, моделировались как вязкий элемент. При проведении исследований жесткость пневматической рессоры, которая связана с изменением ее эффективной площади при деформации, принималась равной нулю. **Результаты.** В данной статье проведен анализ конструкции экипажной части вагона дизель-поезда ДПКр-2. Приведены математические модели его основных узлов, а именно: в центральном рессорном подвешивании – модель пневматической рессоры. Учитывая особенности конструкции экипажной части вагона дизель-поезда ДПКр-2, была разработана его механическая модель, которая в дальнейшем используется при исследовании динамических свойств экипажей. **Научная новизна.** Впервые для вагона дизель-поезда ДПКр-2 разработана механическая модель с учетом особенностей взаимодействия отдельных элементов конструкции. Было предложено как пневматическую рессору использовать узел Кельвина-Фойгта, который включает в себя параллельно расположенные упругий и вязкий элементы. **Практическая значимость.** На основе предложенной механической модели будет составлена система обыкновенных дифференциальных уравнений движения экипажной части вагона дизель-поезда ДПКр-2 (математическая модель). Эту модель в дальнейшем планируется использовать при исследовании динамического взаимодействия колесной пары экипажной части вагона дизель-поезда с рельсовым путем на прямых и кривых участках пути.

Ключевые слова: дизель-поезд; механическая модель; математическая модель; пневматическая рессора; рессорное подвешивание

A. Y. KUZYSHYN^{1*}, A. V. BATIG^{2*}

^{1*}Lviv Research Institute of Forensic Examination, Lypynskiy St., 54, Lviv, Ukraine, 79024, tel.+38 (032) 231 76 13, 38 (032) 231 70 61, e-mail kuzyshyn1993@gmail.com, ORCID0000-0002-3012-5395

^{2*}Lviv Research Institute of Forensic Examination, Lypynskiy St., 54, Lviv, Ukraine, 79024, tel. + 38 (032) 232 70 61, e-mail batigasha1992@gmail.com, ORCID 0000-0003-1205-6004

CONSTRUCTION OF MECHANICAL MODEL OF THE DIESEL-TRAIN DTKr-2 CAR AND ITS FEATURES

Purpose. The article is aimed to construct the mechanical model of the diesel train DTKr-2 of the Kryukivsk Railway Car Building Works based on the analysis of undercarriage construction. This model will be used in the study of dynamic properties of the vehicle. When constructing the model the design features and its loading methods should be displayed as much as possible. **Methodology.** When constructing the mechanical model of the diesel train DTKr-2 car, the pneumatic spring, which is the main element of the central spring suspension, was modeled using Kelvin-Voigt node. This node includes elastic and viscous element. Hydraulic shock absorbers that are used both in the central and axle-box spring suspension were modeled as a viscous element. During research, the rigidity of the pneumatic spring, which is associated with the change in its effective area under deformation, was assumed to be zero. **Findings.** This article analyzed the design of car undercarriage of the diesel train DTKr-2. The mathematical models of its main units were presented, namely, in the central spring suspension – the model of pneumatic spring. Taking into account the peculiarities of design of the diesel train DTKr-2 undercarriage it was developed its mechanical model, which will be used in the future when studying dynamic properties. **Originality.** For the first time for the diesel train DTKr-2 car it was developed its mechanical model taking into account the features of the interaction of individual elements of its design. It has been proposed as a pneumatic spring to use the Kelvin-Voigt node, which includes parallel arranged elastic and viscous elements. **Practical value.** On the basis of the proposed mechanical model, a system of ordinary differential equations of car undercarriage movement of the diesel train DTKr-2 (mathematical model) will be compiled. This model is further planned to be used when studying dynamic interaction of the diesel train car undercarriage wheel set with a track in the straight and curved track sections.

Keywords: diesel train; mechanical model; mathematical model; pneumatic spring; spring suspension

REFERENCES

- Horobets, V. L., Snitko, N. P., & Lashko, A. D. (2011). The diagnostic specifications improvement for rolling stock's traction with using of damping control of vibrational energy. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 36, 7-15. (in Russian)
- Dizel-poyezd passazhirskiy DPKr-2: rukovodstvo po ekspluatatsii, DPKr-2.000.000 RE (2014). (in Russian)
- Ibragimov, M. A., Kiselev, V. I., Ramlov, V. A., & Skalin, A. V. (2005). *Dinamika lokomotivov* [tutorial]. Moscow: RGOTUPS. (in Russian)
- Kuznetsov, A. V., & Zavt, B. S. (1973). Kolebaniya zheleznodorozhnogo ekipazha na pnevmopodveshivaniy s uchetom sobstvennogo dempfirovaniya pnevmoressor. *Trudy VNIIV*, 22, 18. (in Russian)
- Maznev, A. S., & Yevstafev, A. M. (2013). *Konstruksii i dinamika elektricheskogo podvizhnogo sostava* [Monograph]. Moscow: FGBOU «Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte». (in Russian)
- Makarenko, Y. V., Balev, V. N., & Masliev, V. G. (2001). Rezultaty issledovaniya sistemy pnevmaticheskogo ressnornogo podveshivaniya transportnogo sredstva s mikroprotsessornym napravleniyem. *Vestnik natsionalnogo tekhnicheskogo universitetata «KhPI»*, 18, 70-83. (in Russian)
- Melikhov, A. N. (1994). *Effektivnaya sistema dempfirovaniya pnevmoressory skorostnogo podvizhnogo sostava*. (PhD thesis). Available from MIIT, Moscow. (in Russian)
- Biryukov, I. B. (Ed.) (1992). *Mekhanicheskaya chast tyagovogo podvizhnogo sostava*. Moscow: Transport. (in Russian)
- Naoteru, O., & Seyiti, N. (1969). Osobennosti kolebaniy i proyektirovaniye pnevmoressor podveshivaniya zheleznodorozhnykh ekipazhey. *Nihon Kikai Gakkai Rombunshyu* (Jap. Soc. Mech. Eng. A. Trans.), 273, 35. (in Russian)
- Reidemeister, O. H., & Kivisheva, A. V. (2016). Dependence of air spring parameters on throttle resistance. *Science and Transport Progress*, 2 (62), 157-164. doi: 10.15802/stp2016/67339. (in Russian)

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

11. Savluk, V. (2014). Istoriia, dosiahnennia ta perspektyvy koliievyprobuvanoi haluzevoi naukovo-doslidnoi laboratorii DNUZT. *Ukrainian Railways*, 10(16), 50-55. (in Ukrainian)
12. Prikhodko, I. V., Duzik, V. N., Lutonin, S. V., Shkabrov, O. A., Myamlin, S. V., & Zhizhko, V. V. (2013). Sozdaniye otechestvennykh passazhirskikh vagonov na telezhkakh s pnevmaticheskim podveshivaniyem. *Abstracts of the International Scientific & Practical Conference «Scientific School Development of Transport Mechanics»*, Dnepropetrovsk, 40-45. (in Russian)
13. Iwnicki, S. (2006). *Handbook of Railway Vehicle Dynamics*. New York: Taylor & Francis Group. doi: 10.1201/9781420004892. (in English)
14. Koshelev, K. B., Pyshnograï, G. V., & Tolstykh, M. Y. (2015). Modeling of the three-dimensional flow of polymer melt in a convergent channel of rectangular cross-section. *Fluid Dynamics*, 50(3), 315-321. doi: 10.1134/s0015462815030011. (in English)
15. Leichtbau bei Schienfahrzeugen – Bastandsaufnahme und Potenziale. (2013). *Elektrische Bahnen*, 1, 8-12. (in German)
16. Presthrus, M. (2002). *Derevation of air spring model parameters for train simulation: Master of Science program*. Retrieved from <http://epubl.ltu.se/1402-1617/2002/059/LTU-EX-02059-SE.pdf>. (in English)

Стаття рекомендована до публікації к.т.н., доц. О. Г. Рейдемейстером (Україна); д.т.н. М. О. Кузіним (Україна)

Надійшла до редколегії: 07.08.2017

Прийнята до друку: 24.11.2017

УДК 656.2:658.562

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@mail.ru, ORCID 0000-0003-4264-2303

РОЗШИРЕННЯ ЦІЛЕЙ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО АУДИТУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Мета. Робота спрямована на дослідження, порівняння та узагальнення інформації про сучасний стан та особливості проведення технічного аудиту в різних галузях господарювання для одержання можливості розробки пропозицій щодо розширення цілей проведення даної процедури на підприємствах залізничного транспорту. **Методика.** В процесі дослідження використані методи аналізу й синтезу для вивчення змісту та основних положень наукових публікацій, нормативно-правових актів України та інших даних про проведення технічного аудиту в сфері промисловості, будівництва, газовидобування, електроенергетики, морського та залізничного транспорту з подальшим порівнянням й узагальненням. **Результати.** Враховуючи позитивний досвід проведення аудиту в інших галузях, у роботі розширюються цілі практичного застосування технічного аудиту на підприємствах залізничного транспорту, що передбачає оцінку поточного технічного стану і залишкового ресурсу експлуатованих транспортних засобів та обладнання ПАТ «Укрзалізниця». За висновками роботи відкривається можливість виявлення та активації резервів для підвищення ефективності діяльності підприємств залізничного транспорту, оцінки та прогнозування витрат на ремонтні цикли і модернізацію, а також підвищення рівня безпеки руху поїздів та покращення інвестиційної привабливості галузі. **Наукова новизна.** Отримані результати дозволяють розширити поняття «технічний аудит» на залізничному транспорті, визначити мету його проведення та перелік завдань. Застосування розширеного технічного аудиту надасть можливість отримувати об'єктивну інформацію про фактичний технічний стан об'єктів залізничної інфраструктури, засобів транспорту та обладнання й використовувати її для формування програм розвитку як окремих підприємств, так і залізниці в цілому. **Практична значимість.** Розширення цілей практичного застосування технічного аудиту на підприємствах залізничного транспорту дозволить збільшити доходну частину кошторисів шляхом виявлення незадіяних резервів, модернізації та отримання інвестицій. А також надасть можливість зменшити видаткову частину за рахунок мінімізації витрат на ліквідацію наслідків транспортних подій, причиною яких стають несвоєчасно виявлені технічні ризики.

Ключові слова: технічний аудит; підприємства залізничного транспорту; фактичний технічний стан; підвищення ефективності діяльності; ідентифікація ризиків; модернізація

Вступ

Успішна трансформація національної залізничної мережі України в європейську транспортну систему вимагає підвищення ефективності функціонування підприємств залізничного транспорту. Після акціонування залізниць України виникла гостра необхідність в прийнятті нових управлінських, технічних та технологічних рішень, що повинні включати кардинальні зміни організації роботи підприємств, які увійшли до складу ПАТ «Укрзалізниця». Проте, дієвість та ефективність реалізації таких рішень, зазвичай,

залежить від об'єктивності та якості інформації, що служить основою для їх прийняття.

На жаль, на сьогодні дані про фактичний технічний стан залізничного обладнання, інфраструктури, рухомого складу та інженерних комунікацій, а також відомості про промислову безпеку підприємств залізничного транспорту є неповними або не дають всебічного уявлення про наявні прогалини та шляхи їх ліквідації, а отже, не можуть бути основою для прийняття раціональних управлінських рішень.

Особливої актуальності набуває ця проблема стосовно об'єктів, що знаходяться в експлу-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

атації більше 20 років, устаткування та обладнання яких фізично і морально застаріло, а технічні рішення не відповідають сучасному рівню розвитку науки і техніки, вимогам норм і правил промислової безпеки. Високий ступінь амортизації основних фондів підприємств залізничного транспорту свідчить безумовно, що в їх діяльності виникають істотні ризики, своєчасність виявлення яких стане запорукою безпеки та додатковою гарантією для потенційних інвесторів. Крім цього, модернізація обладнання та впровадження новітніх технологій може значно підвищити ефективність діяльності як окремих підприємств, так і залізничної галузі в цілому.

За таких умов для отримання об'єктивної інформації про фактичний технічний стан, наявність незадіяних резервів, можливі шляхи модернізації та підвищення рівня безпеки підприємств доцільно проводити технічний аудит, який частково вже застосовується в інших галузях.

Мета

Метою роботи є дослідження, порівняння та узагальнення інформації про сучасний стан і особливості проведення технічного аудиту в різних галузях господарювання для одержання можливості розробки пропозицій щодо розширення цілей проведення даної процедури на підприємствах залізничного транспорту.

Методика

У процесі дослідження використані методи аналізу і синтезу для визначення змісту та основних положень наукових публікацій, нормативно-правових актів України та інших даних про проведення технічного аудиту в сфері промисловості, будівництва, газовидобування, електроенергетики, морського та залізничного транспорту, з подальшим їх порівнянням та узагальненням.

Результати

Аудиторська діяльність в Україні представляє собою практичне виконання перевірок, організаційне і методичне забезпечення аудиту та надання інших аудиторських послуг суб'єктам підприємницької діяльності, та отже, передба-

чає отримання прибутку. Зважаючи на це, потенціал цього виду діяльності реалізовується в різних сферах, утворюючи різновиди аудиту, серед яких: технічний, інвестиційний, податковий, промисловий, управлінський, технологічний, PR-аудит, екологічний, аудит персоналу та ін.

Незважаючи на існування нормативного регулювання аудиторської діяльності в Україні, законодавчо сфера застосування аудиту зводиться лише до результатів фінансової діяльності суб'єктів господарювання. Закон України «Про аудиторську діяльність», прийнятий 22 квітня 1993 року, як в початковому вигляді, так і в поточній його редакції від 01 травня 2016 року, містить положення, згідно якого під аудитом розуміють перевірку виключно даних бухгалтерського обліку і показників фінансової звітності підприємств, у результаті яких замовник отримує висловлення незалежної думки аудитора про їх достовірність та відповідність вимогам законодавства [4].

Відносна простота здійснення аудиторської діяльності, а саме відсутність потреби у значних капіталовкладеннях у розвиток підприємницької діяльності та можливість отримання прибутку шляхом використання власних кваліфікаційних навичок, роблять цей вид діяльності надзвичайно привабливим для працівників технічних спеціальностей, які пропонують свої послуги з проведення технічного аудиту. Проте, економічна привабливість даного виду діяльності, з одного боку, та відсутність нормативного визначення цієї процедури – з іншого, призводить до практичного надання послуг технічного аудиту в різних галузях економіки країни та до індивідуального підходу у визначенні поняття цієї процедури, переліку робіт, що будуть здійснюватися в ході його проведення та результатів, які отримає замовник.

Так, поняття технічного аудиту в сфері промисловості передбачає проведення сучасних ефективних досліджень виробничих та інженерних систем, що дозволяють об'єктивно оцінити їх поточний технічний стан, виявити резерви підвищення ефективності діяльності, оцінити майбутні ймовірні витрати на ремонтні цикли, модернізацію, енерговитрати і впровадження систем енергозбереження. Отримані результати дозволяють сформулювати перелік управлінських рішень щодо приведення технічного стану це-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

хів і установок підприємства у відповідність до вимог норм і правил, активації незадіяних резервів виробництва та визначення першочергових заходів для попередження травматизму і досягнення безпечної та безаварійної роботи підприємства [5].

У сфері будівництва технічний аудит проводиться за двома напрямками: аудит земельних ділянок та аудит об'єктів нерухомості.

Актуальність першого напрямку аудиту пов'язана з вимогами іноземних компаній, які передбачають внесення інвестицій в Україну, отримання гарантій щодо відсутності фінансових, юридичних і технічних ризиків при забудові відповідної земельної ділянки. Поняття технічного аудиту в даному випадку трактується як проведення досліджень і робіт, які передбачають визначення всіх потенційних ризиків, які можуть призвести до визнання угоди купівлі-продажу земельної ділянки під забудову недійсною та істотно негативно вплинути на вартість об'єкта купівлі-продажу або виявити порушення законодавства України власником такого об'єкта [7].

Поняття технічного аудиту, що проводиться за другим напрямком (об'єкти нерухомості), включає перевірку будівельної діяльності суб'єкта господарювання та оцінку технічного стану обладнання, яке використовується в процесі будівництва. Результатом перевірки є висловлення незалежної думки аудитора про їх відповідність вимогам будівельних норм та стандартів, дотримання вимог щодо строків, якості виконаних робіт згідно з вимогами замовників. Таким чином, технічний аудит об'єктів нерухомості проводиться з метою ідентифікації максимального обсягу потенційних ризиків, які можуть очікувати інвестора або власників майбутньої забудови [7].

Необхідність проведення технічного аудиту в сфері газовидобування обумовлена тим, що на сучасному етапі розвитку галузі більшість технологічних, технічних та консультаційних послуг надається внутрішніми підрозділами ПАТ «Укргазвидобування». Як зазначають спеціалісти [2], це призводить до зниження якості послуг, некоректного відображення вартості таких послуг та, зважаючи на масштаби компанії, перешкоджає розвитку ринку спеціалізованих нафтогазових послуг в Україні.

У такому випадку, з метою вирішення поставленої проблеми керівництво компанії приймає рішення про залучення незалежних експертів для проведення технічного аудиту, який включає дослідження технічного стану обладнання, інспекцію виробничих баз та складів, а також визначення рівня безпеки умов праці на всіх бурових верстатах на виробництві. На основі отриманих результатів має бути підготовлена програма модернізації бурового обладнання та план підвищення кваліфікації працівників та інженерного персоналу, реалізація якої дозволить нарощувати обсяги робіт і таким чином підвищити енергонезалежність країни [2].

Технічний аудит у сфері електроенергетики являє собою визначення відповідності технічного стану електромереж і електроустановок, а також умов їх експлуатації, норм законодавчих актів. Особливістю технічного аудиту цієї сфери є те, що суб'єктом може бути як незалежний експерт (перевірка технічного стану електромереж), так і повноважений експерт енергокомпанії (перевірка технічного стану електроустановок, дотримання умов їх підключення та експлуатації). Об'єкти технічного аудиту у сфері електроенергетики – це являються електромережі, трансформаторні підстанції, розподільчі пристрої і пункти, системи автоматизованого управління електропостачанням тощо.

Проведення самої процедури спрямоване на структурування існуючих систем енергопостачання, ідентифікацію ризиків, що нерідко стають причиною виникаючих технологічних проблем, розробку програми впровадження енергоефективних технологій, оптимізацію або реконструкцію енергопостачання, систем електросилового та дистанційного автоматизованого управління, розробку напрямків поточного і перспективного розвитку підприємств електроенергетики.

Актуальність застосування технічного аудиту в галузі морського транспорту обумовлена широким спектром проблем мікро- та макросередовища. Технічний аудит проводиться в межах реалізації комплексної програми підвищення ефективності діяльності морського порту та визначається як оцінка технічного стану інженерних систем та обладнання: зношування, його частоти обслуговування, необхідності ремонту, рівня витрат у відношенні до годин експлуатації, продуктивності, собівартості експлу-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

атації. Метою такого технічного аудиту є визначення актуальних напрямів роботи та організаційно-економічних заходів, що дозволять морським портам суттєво покращити результати діяльності в коротко- та середньостроковій перспективі [1].

Функції проведення технічного аудиту в ПАТ «Укрзалізниця» виконує Центр технічного аудиту (ЦТА), створений в структурі ДП «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» ПАТ «Укрзалізниця». Відповідно до нормативних документів, якими керується в своїй роботі ЦТА, поняття технічного аудиту визначається як систематичний, незалежний і задокументований процес отримання доказів функціонування систем виробника щодо забезпечення виробництва такої продукції, яка відповідає вимогам нормативних актів, стандартів і технічної документації, результатом якого постає висновок щодо відповідності для застосування готової продукції або послуг виробника.

Основними задачами технічного аудиту в галузі залізничного транспорту є визначення:

- відповідності систем виробника критеріям аудиту, якими є нормативна та конструкторська документація, внутрішні керівні документи ПАТ «Укрзалізниця»;
- методики та технічної можливості для проведення інспекційного і приймального контролю продукції або послуг;
- показників якості продукції, що приймаються інспекційним та приймальним контролем, для моніторингу стану якості продукції (послуг) за допомогою статистичних методів.

Технічні аудити, що проводяться ЦТА, мають статус «Аудити другою стороною» відповідно до ДСТУ ISO 19011:2012, тобто аудити, що проводяться представниками замовника чи іншою зацікавленою особою [3].

Таким чином, на прикладі досвіду країн учасників ЄС, сьогодні в галузі залізничного транспорту України впроваджено проведення технічного аудиту, який спрямований на управління системою якості продукції (послуг); об'єктом його фактично виступає процес виробництва постачальника залізничної продукції (послуг).

Такий напрям діяльності є безперечно важливим, проте, на думку авторів, для успішного

впровадження будь-яких нововведень застосування позитивного закордонного досвіду замало – необхідно враховувати індивідуальні особливості розвитку залізничної галузі в Україні.

Світові тенденції обумовлюють підготовку пріоритетних проектів ПАТ «Укрзалізниця», які пов'язані з розвитком швидкісного руху, побудовою міжнародних транспортних коридорів та розвитком мультимодальних перевезень, але незадовільний стан залізничної інфраструктури та рухомого складу перешкоджає їх реалізації [8]. На відміну від інших країн ЄС, галузь залізничного транспорту України характеризується надзвичайно високим рівнем зносу основних фондів, які забезпечують її функціонування. Експлуатація цих фондів містить істотні ризики, своєчасність ідентифікації яких та організація управління ними є запорукою безпеки [6, 11, 12, 13]. Тому, на думку авторів, враховуючи співвідношення частки обладнання, рухомого складу та інших ресурсів ПАТ «Укрзалізниця», що повністю амортизованим, але продовжують експлуатуватися, та частки придбаного майна, що приймається в експлуатацію, необхідно змінювати підхід до визначення об'єкту технічного аудиту.

Крім цього, основними принципами аудиту є незалежність та неупередженість. Враховуючи, що суб'єктом проведення технічного аудиту є ЦТА, підпорядкований та підзвітний ПАТ «Укрзалізниця», їх дотримання викликає сумніви. До того ж, автори наукових публікацій [9, 10] наголошують на необхідності залучення незалежних експертів з проведення технічного аудиту для отримання об'єктивних та неупереджених результатів.

Отже, отримані результати дослідження особливостей проведення технічного аудиту в сфері промисловості, будівництва, газовидобування, електроенергетики, морського та залізничного транспорту дозволяють визначити спільні та відмінні риси його цілей, об'єкту та суб'єкту, що характерні для більшості галузей. Результати приведені в табл. та на рис. 1.

Узагальнення інформації, яка приведена в табл. 1 та на рис. 1 свідчить про те, що застосовуючи технічний аудит у функціонуванні перелічених сфер господарювання, замовники ставлять за мету досягнення наступних цілей: підвищення ефективності діяльності та безпеки, модернізації виробництва та створення додат-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

кових гарантій захисту прав інвесторів та покупців.

У переважній більшості галузей технічний аудит застосовується для визначення поточного технічного стану обладнання, що експлуатується та забезпечує отримання результатів господарської діяльності, а для здійснення процедури залучаються незалежні експерти.

Враховуючи позитивний досвід застосування аудиту в різних галузях економіки та узагальнюючи розглянуті характеристики даного виду діяльності, в роботі пропонується перелік заходів щодо врегулювання розбіжностей у визначеннях поняття, мети та завдань технічного аудиту та розширення цілей його практичного застосування в ПАТ «Укрзалізниця», а саме:

– внесення змін до законодавчої бази, що регулює аудиторську діяльність в Україні, ада-

птація її до всіх видів аудиту, які широко застосовуються на практиці;

– створення законодавчої, теоретичної та практичної бази для підготовки висококваліфікованих спеціалістів з проведення технічного аудиту;

– розширення цілей практичного застосування технічного аудиту об'єктів залізничного транспорту, розробка нової методики та побудова принципів його проведення.

Для реалізації останнього положення, автори вважають доцільним розширити об'єкт перевірки в ПАТ «Укрзалізниця», що дозволить досліджувати технічний стан інженерних та виробничих систем як заводів-постачальників залізничної продукції, так і підприємств залізничного транспорту, що входять до складу ПАТ.

Таблиця 1

Спільні риси мети проведення технічного аудиту в різних галузях

Table 1

Common features of the technical audit objective in various fields

Сфера проведення технічного аудиту	Мета проведення технічного аудиту	Спільні риси
Промисловість	Виявлення резервів підвищення ефективності діяльності підприємства, попередження травматизму та досягнення безпечної та безаварійної роботи виробництва	Підвищення ефективності діяльності суб'єкта господарювання; підвищення рівня безпеки
Морський транспорт	Визначення актуальних напрямів роботи та організаційно-економічних заходів для підвищення ефективності діяльності морського порту	Підвищення ефективності діяльності суб'єкта господарювання
Газовидобування	Підвищення енергонезалежності країни шляхом нарощення обсягів буріння свердловин та безпеки умов праці, отримання рекомендацій щодо модернізації діючого обладнання	Підвищення ефективності діяльності суб'єкта господарювання; підвищення рівня безпеки; модернізація
Електроенергетика	Ідентифікація ризиків та підвищення безпеки, розробка напрямків поточного і перспективного розвитку та модернізації обладнання підприємств електроенергетики	Підвищення ефективності діяльності суб'єкта господарювання; підвищення рівня безпеки; модернізація
Будівництво	Ідентифікація потенційних ризиків для захисту інтересів інвесторів, власників майбутньої забудови та підвищення рівня безпеки під час проведення будівельних робіт	Захист прав інвесторів та покупців; підвищення рівня безпеки
Залізничний транспорт	Пошук доказів функціонування систем виробника щодо забезпечення виробництва такої продукції, яка відповідає вимогам нормативних актів, стандартів і технічної документації	Захист прав інвесторів та покупців

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

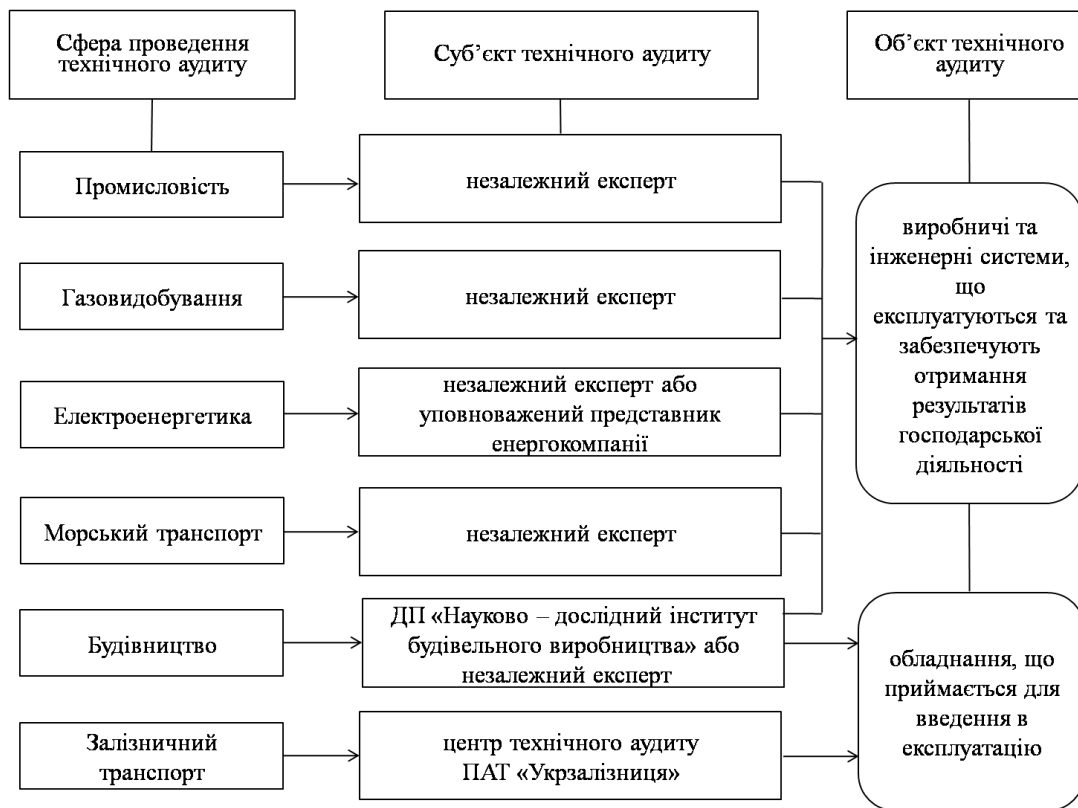


Рис. 1. Об'єкт та суб'єкт технічного аудиту

Fig. 1. Object and subject of technical audit

Метою проведення технічного аудиту в галузі залізничного транспорту України має бути оцінка поточного технічного стану ресурсу, що забезпечує здійснення господарської діяльності ПАТ «Укрзалізниця» для виявлення та активації резервів підвищення її ефективності, оцінки та можливості прогнозування майбутніх ймовірних витрат на ремонтні цикли та модернізацію, а також підвищення безпеки працівників та користувачів послуг залізничного транспорту.

Крім цього, своєчасна ідентифікація та аналіз рівня фактичних ризиків та їх порівняння з рівнем допустимих під час реалізації заходів підвищення ефективності діяльності підприємства надасть можливість приймати рішення про допустимість реалізації проектів, або ж необхідність доопрацювання цих проектів з метою зменшення ризиків, створюючи там самим додаткові гарантії та покращуючи інвестиційну привабливість підприємств.

Таким чином, основними задачами технічного аудиту має стати обстеження об'єктів залізничного транспорту для:

– оцінки поточного технічного стану наявних ресурсів та визначення рівня оснащеності об'єкта;

– виявлення та дослідження технічних ризиків для забезпечення своєчасної організації процесу управління ними;

– прогнозування ремонтних циклів (капітальних та поточних) устаткування та засобів транспорту, що експлуатуються, з визначенням їх очікуваної вартості;

– оцінка можливості впровадження інноваційних технологій на об'єкті обстеження, що включає:

а) визначення напрямку вдосконалення;

б) вивчення (моніторинг) існуючих продуктів інноваційної діяльності та підбір одного або кількох альтернативних варіантів, що можуть бути впровадженими на даному об'єкті;

в) порівняння технічних характеристик об'єкта, що встановлені в результаті проведеного дослідження та необхідні для впровадження обраного інноваційного продукту.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна роботи полягає в тому, що отримані результати дозволяють розширити поняття «технічний аудит» на залізничному транспорті, визначити мету його проведення та перелік завдань. Застосування розширеного технічного аудиту надасть можливість отримувати об'єктивну інформацію про фактичний технічний стан об'єктів залізничної інфраструктури, засобів транспорту та обладнання і використовувати її для формування програм розвитку як окремих підприємств, так і залізниці в цілому.

Розширення цілей практичного застосування технічного аудиту на підприємствах залізничного транспорту дозволить збільшити доходу частину їх кошторисів шляхом виявлення незадіяних резервів, модернізації та отримання інвестицій, а також зменшити видаткову частину за рахунок мінімізації витрат на ліквідацію наслідків транспортних подій, причиною яких стають несвоєчасно виявлені технічні ризики.

Висновки

Період становлення аудиту в Україні складає понад 20 років, проте, законодавчо даний вид діяльності обмежений лише фінансовою сферою. Попри це, аудит широко застосовується

на практиці в різних сферах діяльності підприємств, утворюючи безліч різновидів, серед яких і технічний. Метою його проведення в розглянутих сферах господарювання є підвищення ефективності діяльності та безпеки, модернізація виробництва та створення додаткових гарантій захисту прав інвесторів та покупців. При цьому, у переважній більшості галузей, об'єктом процедури виступає обладнання, що експлуатується та забезпечує отримання результатів господарської діяльності, а для її проведення залучаються незалежні суб'єкти.

Технічний аудит залізничного транспорту спрямований на управління системою якості продукції, що приймається в експлуатацію.

Враховуючи позитивний досвід проведення аудиту в інших галузях, пропонуємо розширювати цілі практичного застосування технічного аудиту на підприємствах залізничного транспорту, що передбачає оцінку поточного технічного стану і залишкового ресурсу експлуатованих транспортних засобів та обладнання ПАТ «Укрзалізниця». У результаті відкривається можливість виявлення та активації резервів для підвищення ефективності діяльності підприємств залізничного транспорту, оцінки та прогнозування витрат на ремонтні цикли і модернізацію, а також підвищення рівня безпеки руху поїздів та покращення інвестиційної привабливості галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дем'янченко, А. Г. Організаційно-економічні заходи підвищення ефективності діяльності державних стивідорів в морських портах України / А. Г. Дем'янченко, О. П. Коваль // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті : зб. наук. пр. / Одес. нац. мор. ун-т. – Одеса, 2015. – Вип. 3 (52). – С. 41–58.
2. Документація процедури закупівлі ПАТ «Укргазвидобування» 70.22.1 «Послуги консультаційні щодо керування підприємствами (Технічний аудит та технічна підтримка ПАТ «Укргазвидобування») [Електронний ресурс] : затв. протоколом засідання комітету з конкурсних торгів від 27 серпня 2015 р. № 15П-055-з. – Режим доступу: <http://ugv.com.ua/wp-content/uploads>. – Назва з екрана. – Перевірено : 26.09.2017.
3. Пилипенко, С. В. Технічний аудит – об'єктивна оцінка технічних можливостей виробника / С. В. Пилипенко, Е. С. Краснокутський // Залізнич. трансп. України. – 2016. – № 3/4. – С. 93–96.
4. Про аудиторську діяльність [Електронний ресурс] : Закон України від 22.04.1993 р. № 3125-ХІІ [станом на 01.05.2016 р.]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3125-12>. – Назва з екрана. – Перевірено : 26.09.2017.
5. Програма проведення технічного аудиту ТОВ «Придніпровський центр технічного аудиту» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pridniprovskiy-centr-tehnicnogo-audit.business-guide.com.ua>. – Назва з екрана. – Перевірено : 26.09.2017.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

6. Розсоха, О. В. Аналіз і особливості існуючих наукових підходів щодо визначення рівня безпеки / О. В. Розсоха, Ю. В. Смачило // Зб. наук. пр. Держ. екон.-технол. ун-ту трансп. Серія: Транспортні системи і технології. – Київ, 2016. – Вип. 28. – С. 202–214.
7. Технічний аудит земельних ділянок під забудову та об'єктів нерухомості ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В. С. Балицького» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ndibv.kiev.ua/ua/archives/1225>. – Назва з екрана. – Перевірено : 26.09.2017.
8. Шраменко, О. В. Концептуальні засади інфраструктурної безпеки на залізничному транспорті / О. В. Шраменко, Є. В. Хорошаєва // Вісн. економіки транспорту і промисловості : зб. наук.-практ. ст. / Укр. держ. акад. заліз. трансп. – Харків, 2017. – № 57. – С. 97–103.
9. Cheng, R. K. W. The concept of operations assurance and application in railway / R. K. W. Cheng, R. C. M. Lam // Proc. of the 1st Intern. Workshop on High-Speed and Intercity Railways. – Hong Kong, 2012. – P. 455–466. doi: 10.10007/978-3-642-27963_41.
10. Cole-Baker, J. R. The role of the independent technical audit in raising finance / J. R. Cole-Baker, G. J. Bowyer // The J. of The South African Institute of Mining and Metallurgy. – 1998. – No. 6. – P. 317–326.
11. Li, Q. Quality risk management model for railway construction projects / Q. Li, R. Liu, J. Zhang // Procedia Engineering. – 2014. – Vol. 84. – P. 195–203. doi: 10.1016/j.proeng.2014.10.426.
12. Pawlik, M. Control command systems impact on the railway operational safety / M. Pawlik // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 2 (56). – С. 58–64. doi: 10.15802/stp2015/42160.
13. Tenea, D. Risk management in operating activities of industrial railways / D. Tenea, D. Vintila // 13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference of Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection. – Albena, Bulgaria, 2013. – Book 5, Vol. 2. – P. 255–262. doi: 10.5593/SGEM2013/BE5.V2/S21.034.

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

РАСШИРЕНИЕ ЦЕЛЕЙ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО АУДИТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Цель. Работа предусматривает исследование, сравнение и обобщение информации о современном состоянии и особенностях проведения технического аудита в различных отраслях хозяйствования для получения возможности разработки предложений по расширению целей проведения данной процедуры на предприятиях железнодорожного транспорта. **Методика.** В процессе исследования использованы методы анализа и синтеза для изучения содержания и основных положений научных публикаций, нормативно-правовых актов Украины и других данных о проведении технического аудита в сфере промышленности, строительства, газодобычи, электроэнергетики, морского и железнодорожного транспорта с последующим их сравнением и обобщением. **Результаты.** Учитывая положительный опыт проведения аудита в других отраслях, в работе расширяются цели практического применения технического аудита на предприятиях железнодорожного транспорта, что предусматривает оценку текущего технического состояния и остаточного ресурса эксплуатируемых транспортных средств и оборудования ПАО «Укрзалізниця». По итогам работы открывается возможность выявления и активации резервов для повышения эффективности деятельности предприятий железнодорожного транспорта, оценки и прогнозирования затрат на ремонтные циклы и модернизацию, а также повышения уровня безопасности движения поездов и улучшения инвестиционной привлекательности отрасли. **Научная новизна.** Полученные результаты позволяют расширить понятие «технический аудит» на железнодорожном транспорте, определить цель его проведения и перечень задач. Применение расширенного технического аудита позволит получать объективную информацию о фактическом техниче-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ском состоянии объектов железнодорожной инфраструктуры, транспортных средств, оборудования и использовать ее для формирования программ развития как отдельных предприятий, так и железной дороги в целом. **Практическая значимость.** Расширение целей практического применения технического аудита на предприятиях железнодорожного транспорта позволит увеличить доходную часть путем выявления незадействованных резервов, модернизации и получения инвестиций. А также даст возможность уменьшить расходную часть за счет минимизации затрат на ликвидацию последствий транспортных происшествий, причиной которых становятся несвоевременно выявленные технические риски.

Ключевые слова: технический аудит; предприятия железнодорожного транспорта; фактическое техническое состояние; повышение эффективности деятельности; идентификация рисков; модернизация

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, 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, e-mail bulah_marina@mail.ru, ORCID 0000-0003-4264-2303

EXPANSION OF OBJECTIVES OF THE PRACTICAL APPLICATION OF TECHNICAL AUDIT AT RAILWAY TRANSPORT ENTERPRISES

Purpose. The work is aimed to study, compare and summarize information on the current state and peculiarities of conducting technical audit in various branches of business in order to obtain the possibility of developing proposals for expanding the objectives of this procedure in railway enterprises. **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, normative legal acts of Ukraine, and other data on conducting technical audit in the field of industry, construction, gas extraction, electricity, marine and rail transport, followed by their comparison and generalization. **Findings.** Taking into account the positive experience of the audit carrying out in other sectors the article expands the goals of practical application of technical audit in railway transport enterprises. This envisages assessment of the current technical condition and the residual life of exploited vehicles and equipment of PJSC «Ukrzaliznytsia». As a result, there is an opportunity to detect and activate the reserves for improving the efficiency of railway transport enterprises, estimating and forecasting the costs for repair cycles and modernization, as well as for increasing the train safety level and improving investment attractiveness of the industry. **Originality.** The obtained results make it possible to broaden the concept of "technical audit" in railway transport, to define the purpose of its carrying out and the list of tasks. Application of the extended technical audit will provide an opportunity to receive objective information on the actual technical condition of the objects of the railway infrastructure, means of transport and equipment, and to use it for the formation of development programs as individual enterprises and the railway as a whole. **Practical value.** Expanding the goals of practical application of the technical audit at railway enterprises will increase the revenue part by identifying unused reserves, modernizing and obtaining investment, as well as reducing the expenditure part by minimizing the costs of eliminating the consequences of transport events, which is the cause of untimely identified technical risks.

Key words: technical audit; railway transport enterprises; actual technical condition; efficiency improvement; risk identification; modernization

REFERENCES

1. Demyanchenko, A. G., & Koval, O. P. (2015). Organizational and economic measures for improving the efficiency of public stevedoring company in the Ukrainian seaports. *Development of Administration and Economic Management Methods on Transport*, 3(52), 41-58. (in Ukrainian)
2. Dokumentatsiia protsedury zakupivli PAT «Ukrhazvydobuvannia» 70.22.1 «Posluhy konsultatsiini shchodo keruvannia pidpriemstvamy (Tekhnichniy audyt ta tekhnichna pidtrymka PAT «Ukrhazvydobuvannia»): protokol zasidannia komitetu z konkursnykh torhiv vid 27.08.2015 No. 15P-055-z (2015). Retrieved from <http://ugv.com.ua/wp-content/uploads>. (in Ukrainian)

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

3. Pylypenko, S. V., & Krasnokutskyi, E. S. (2016). Tekhnichniy audyt – obiektyvna otsinka tekhnichnykh mozhlyvostei vyrobnyka. *Railway Transport of Ukraine*, 3-4(118-119), 93-96. (in Ukrainian)
4. Pro audytorsku diialnist: Zakon Ukrainy 1993, number 3125-XII (2016). Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3125-12>. (in Ukrainian)
5. Prohrama provedennia tekhnichnoho audytu TOV «Prydniprovskiy tsentr tekhnichnoho audytu». Retrieved from <http://pridniprovskiy-centr-tehnichnogo-auditu.business-guide.com.ua> (in Ukrainian)
6. Rozsoha, A. V., & Smachilo, Y. V. (2016). Analysis and features of existing scientific approaches to determining the level of traffic safety. *Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport series «Transport Systems and Technologies»*, 28, 202-214. (in Ukrainian)
7. Tekhnichnyy audyt zemelnykh diljanok pid zabudovu ta ob'ektiv nerukhomosti. DP «Naukovo-doslidnyy instytut budiveljnogho vyrobnyctva imeni V.S. Balycjkogho». Retrieved from <http://ndibv.kiev.ua/ua/archives/1225>. (in Ukrainian)
8. Shramenko, E. V., & Horoshaeva, E. V. (2017). Conceptual aspects of infrastructure security for railway transport. *The Bulletin of Transport and Industry Economics*, 57, 97-103. (in Ukrainian)
9. Cheng, R. K. W., & Lam, R. C. M. (2012). The concept of operations assurance and Its application in metro railway. *Proceedings of the 1st International Workshop on High-Speed and Intercity Railways*, 2, 455-466. doi: 10.1007/978-3-642-27963-8_41. (in English)
10. Cole-Baker, J. R., & Bowyer, G. J. (1998). The role of the independent technical audit in raising finance. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 6, 317-326. (in English)
11. Li, Q., Liu, R., & Zhang, J., & Sun, Q. (2014). Quality risk management model for railway construction projects. *Procedia Engineering*, 84, 195-203. doi: 10.1016/j.proeng.2014.10.426. (in English)
12. Pawlik, M. (2015). Control command systems impact on the railway operational safety. *Science and Transport Progress*, 2 (56), 58-64. doi: 10.15802/stp2015/42160. (in English)
13. Tenea, D., & Vintila, D. (2013). Risk management in operating activities of industrial railways. *Proceedings of 13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference of Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection*, 2(5), 255-262. doi: 10.5593/SGEM2013/BE5.V2/S21.034. (in English)

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Д. М. Козаченком (Україна); д.т.н., проф. Є. С. Альошинським (Україна)

Надійшла до редколегії: 02.08.2017

Прийнята до друку: 17.11.2017

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

UDC 625.1.033:539.3

M. B. KURHAN¹, D. M. KURHAN^{2*}

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

RAILWAY TRACK REPRESENTATION IN MATHEMATICAL MODEL OF VEHICLES MOVEMENT

Purpose. The tasks of modeling the interaction of track and rolling stock are basic ones for most areas of modern scientific research of railway transport. The compilation of the model by the principle of Lagrange d'Alembert has found a very wide application for solving the problems of rolling stock dynamics. Representation of the railway track in the model of vehicle movement can be implemented in several ways, which, among other things, will differ in detail. The purpose of this work is to create a methodology for representing the railway track in mathematical models of interaction with rolling stock and obtaining practical results for different characteristics and design of the track and the level of maximum speed. **Methodology.** The problem consists of determining such track characteristics as the reduced mass, the stiffness coefficient, and the dissipation coefficient. As a tool for solving this problem we used the model of the stress-strain behavior of the railway track based on the joint use of the elastic wave propagation equations to describe the topography of the part of the system that is involved in the interaction at a given time and the equations of dynamic equilibrium of its deformation. This makes it possible to take into account the dynamics of the deflection of the underrail base, which is especially important for the conditions of passenger traffic, which can be carried out at high speed. **Findings.** The authors obtained theoretically justified stiffness and dissipation coefficients of the railway track for calculating the dynamics of rolling stock in modern models based on systems of equations in accordance with the Lagrange d'Alembert principle. The established values, in contrast to those given in other sources, have a reasonable dependence on the track design and the speed of movement. **Originality.** The authors expanded the approaches of railroad track representation in models of rolling stock described by systems of equations by the Lagrange-d'Alembert principle. The paper presents the developed method for determining the characteristics of the railway track for such models is based on the results of variant calculations of the dynamic deflection of the rail from the passage of the wheel. **Practical value.** The authors obtained the values of the stiffness and dissipation coefficients of the railway track depending on the design and speed of motion for practical use in appropriate models of interaction between track and rolling stock.

Key words: railway track; interaction of track and rolling stock; railway track model; track stiffness; track dissipation; dynamic track deflection; passenger traffic

Introduction

The tasks of modeling the interaction of track and rolling stock are the basic ones for most areas of modern scientific railway transport research. Depending on the task being solved, one can use both relatively simple, sometimes even flat calculation schemes and the developed models de-

scribed by systems with dozens of equations. Despite the fact that it is always being modeled the interaction process between track and rolling stock, the tasks of rolling stock research and those aimed at the railway track research have fundamental differences.

Today one can not recommend a single mathematical model and, even, a single modeling

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

principle to solve the entire variety of tasks of interaction between the track and rolling stock. It is the problem definition should determine the permissible hypotheses and assumptions, obligatory factors of influence, possible accuracy of the output data and sufficient accuracy of the obtained results and other characteristics determining the choice of the adequate for this case model.

It is rather difficult to obtain satisfactory results trying to combine simulation of rolling stock and railway track operation. Therefore, the most commonly used are not general models, but a staged modeling of processes in several different models. Thus, in the models of rolling stock with detailed accounting of dynamic processes in a vehicle and maximal simplification of rail track, the forces acting on the track are obtained. Further, such forces become the initial load (usually a simplified one to the static application of these forces) in models with detalization of rail track operation. This approach to the consistent application of two fundamentally different models is becoming increasingly widespread today.

Models of rolling stock are, in most cases, systems of motion (oscillations) of a set of interconnected solids. Usually, for the mathematical description of such models, the systems of differential equations of the second kind, compiled according to Lagrange-d'Alamber principle are used [1, 2].

As a rule, it is taken a constant mass of interacting bodies, linearity of the connections between them, constant speed of motion, immutability of geometry of the bodies themselves (the deformations of system are determined by the change in position of bodies, not by their own deformation), the invariance of the physical (especially the elastic ones) characteristics of bodies and so on. Attempts to eliminate such assumptions considerably complicate solution of the equation system, and in most cases, it makes impossible to obtain the solution with the necessary accuracy at all.

Particular attention should be paid to the fact that the system of bodies, described by the Lagrange equations of the second kind may have a local or global coordinate system. From the point of view of mathematical tools, this does not have a fundamental difference, but it has significant disadvantages for practical application. The local coordinate system assumes that its center moves together with the system, as a rule it is located in the center of the weight of the largest body, for

example, the car body. Then the coordinates of all bodies at each step of calculation are moves relative to this point. At each step of calculation, they have values about one order, both between themselves and between values at other steps. This approach provides a certain accuracy of results of solving the equation system at each step in each direction. However, with this approach, a vehicle under study does not move along the track, but only fluctuates in one place. Local track inequalities are set in the same local coordinate system, and the global change in the motion trajectory is taken into account as application of the corresponding external forces. Thus, for example, the motion in a curve is set by applying to the bodies of the corresponding centrifugal force.

Global coordinate system establishes a permanent point of its center, the position of which does not change during the entire sequence of calculations. It simplifies the mechanism for describing the track position and makes it possible to set its spatial position as an array of coordinates. The advantages of this approach are, first, the ability to set any layout of the track, including the results of outdoor shooting; and secondly, the forces arising from changing the motion trajectory will be calculated as a consequence, not set as the source data. However, all displacements of individual bodies of car will also be determined relative to the originally set coordinate center. This will increase the calculation error.

Consequently, for the tasks in which it is the rolling stock dynamics that is under study, the local coordinate system is used - this is a more common variant. In some cases, when it is important to study the motion dynamics, depending exactly on the track geometry the global coordinate system is used.

Modeling according to the principle of Lagrange-d'Alamber has found a very broad application for solving the tasks of rolling stock dynamics. In accordance with the principles of solid state mechanics it is assumed that the object has a constant mass. The force applied to the object point instantly leads to displacement of all its other points and the body moves as one whole relative to the mass center. The use of such an approach for modeling the operation of a railway track construction may take place, but for the most tasks it should be considered inappropriate. One can divide a railway track into integral objects with a constant mass on-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ly conditionally. Moreover, these masses will have small displacement values, which will occur in a short period of time.

Purpose

The work is aimed to create a methodology for representing a rail track in mathematical models of interaction with rolling stock and obtain practical results for various characteristics and track design and the maximum speed level.

Methodology

Rail track representation in the model of vehicle movement can be carried out in several ways, which, first of all, will differ in different detalization.

One of the variants involves description of rail track as an endless beam, which lies on an elastic, non-inertial basis – the Winkler model. This model is the basis of many static calculation schemes and is adequate for many tasks. But such a system will have an infinite number of freedom degrees, which is inconvenient for inclusion in rolling stock models. An alternative is the Vlasov model, which makes it possible to express displacement of the beam (rail) points and underrail base through displacement of the contact points of wheels and rails.

In this case, the general approach is maintained: a system assembly of separate rigid bodies with mass and connections between them. In the simplest form it can be a tight connection of wheel with a rail track, Fig. 1, *a*. Then the stiffness of such a bearing reduced to one wheel can be determined by the formula

$$k_t = \frac{2U}{k}, \quad (1)$$

where U – is an elasticity modulus of underrail base; k –relative stiffness coefficient.

This variant is rarely used. The absence of a dissipative connection makes the system too sensitive to the swing: the accumulation of errors in the solution of equations can lead to continuous oscillations.

In most cases, it is used the variant where each wheel has a rigidly dissipative connection with the reduced part of the rail track – Fig. 1, *b*.

Today, it is spreading the tendency to take into account the track inertia, that is, a track (or its individual elements) should have a mass, which

makes it an integral object of the mass oscillation system and makes it possible to detalize for separate components. The weight implies the so-called «reduced mass» – that is, the one interacting with the wheel. Sometimes it means the mass of rail, sometimes – the mass of the track upper structure (again, reduced to one wheel). It is clear that in any case this mass is conditional, its value should change in the process of interaction, but systems based on the Lagrange-d'Alamber princile make it impossible to use variable masses. In addition, the railway track operates in the conditions of elastic deformations that can not be fully identified by the displacement of mass centers of rigid bodies.

Depending on the detalization degree of subsystem «rail track», the following variants are possible:

- the reduced mass of rail is taken into account; it is assumed that the rail and the wheel, as an object with their total mass, have a rigidly dissipative connection with underrail base, Fig. 1, *c*;

- it is taken into account the reduced mass of rail, which has a rigidly dissipative connection with underrail base; to separate the wheel mass from the rail between them a rigid connection, (with a large numerical value) is established, Fig. 1, *d*;

- it is taken into account the reduced mass of the track is taken into account, which has a rigidly dissipative connection with the base, Fig. 1, *e*;

- it is taken into account the weight of sleeper (interacting with the wheel), which has a rigidly dissipative connection with under sleeper base on the one side and with a rail on the other (as a rule, unimportant one (Fig. 1, *f*), although there may be the variants of rail mass separation too (Fig. 1, *g*);

- it is taken into account the weight of sleeper (interacting with the wheel), which has a rigidly dissipative connection with the rail on the one side and with ballast on the other, which has a rigid connection with sub-ballast base (Fig. 1, *f*).

The given classification is developed on the basis of works [1, 2, 6, 7, 9–11], and others.

From the point of view of vehicle movement modeling the variants from "f" (see Fig. 1) and further are not specify the calculation results as they complicate the general system of equations and can be identically referred to the variant "e" or even simpler ones. Such detalization takes place when trying to simulate the railroad operation itself.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

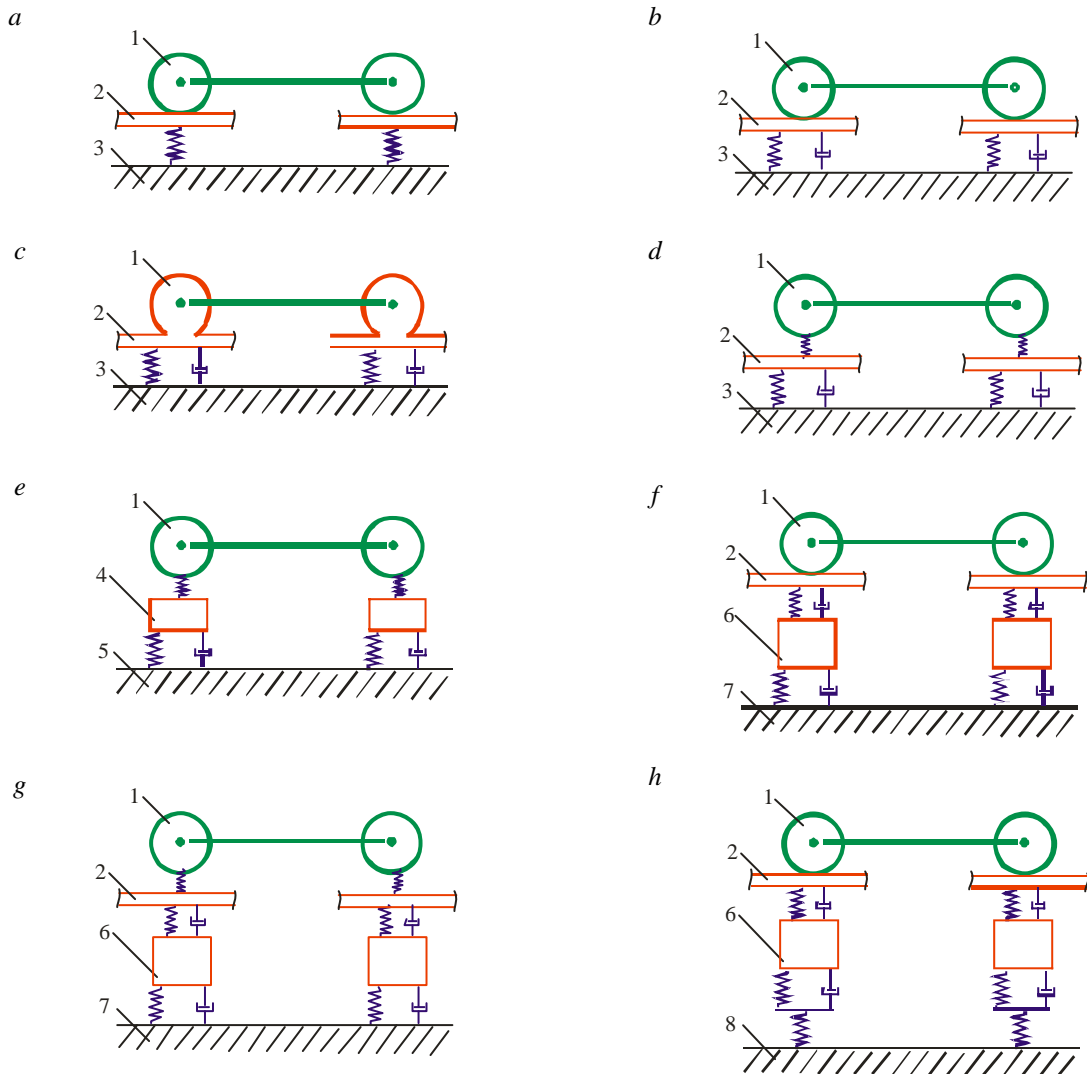


Fig. 1. Options for rail track representation in the model based on the Lagrange-d'Alembert equation system:
 1 – wheel; 2 – rail; 3 – underrail base; 4 – conditional object with a weight of a track, reduced to one wheel; 5 – immovable foundation; 6 – sleeper; 7 – under sleeper base; 8 – sub-ballast base

Thus, the task of presenting a rail track in models of rolling stock is reduced to determining characteristics of connections between its elements and the wheel. They can be obtained either by purely analytical approaches, or according to the results of dependences of the track deflections on the applied load. The latter variant can be implemented either experimentally according to the results of field measurements, or theoretically based on the results of variant calculations using corresponding models of the stress-strain behavior of the rail track. A similar problem was solved by

Prof. O. M. Darenskyi in the work [3]. This work based on analytical calculations determines the support rigidity reduced to one wheel, for the zone of rail joints in the conditions of industrial transport operation.

In order to solve such problem for mainline transport, especially for the conditions of passenger traffic, which can occur at high speed [4], one of the important characteristics of the rail track model which can be applied is the ability to take into account the dynamics of the underrail base deflection.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Thus, the task consists of determining such characteristics of the track as the reduced mass, rigidity coefficient, and dissipation coefficient. To solve the task let us consider the following calculation scheme, Fig. 2.

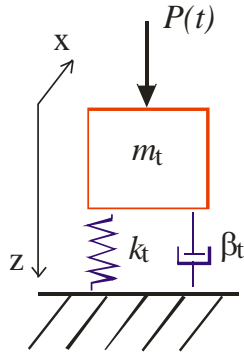


Fig. 2. Calculation scheme of track operation reduced to one wheel

Operation of the track reduced to one wheel is considered as a system with one freedom degree consisting of mass that has a rigid (k_t) and dissipative (β_t) connection with the base. An external force (P) variable in time is applied to the system. Such calculation scheme is identical to the rail track representation in the Lagrange-d'Alembert models shown in the Fig. 1, e, but, if necessary, it can be reduced to the other variants.

$$z(x) = Ce^{-rx} (\cos \omega x + \sin \omega x) + \frac{A}{m_t V^2} \frac{\left[(\omega^2 + 2k_t^2 - 4rk_t) \cos k_t x + (\omega^2 - 2k_t^2) \sin k_t x \right] e^{-k_t x}}{\omega^4 - 4rk_t \omega^2 + 4k_t^4 + 8r^2 k_t^2 - 8rk_t^3}, \quad (6)$$

$$\text{where } C = \frac{A}{m_t V^2} \left(\frac{k}{2U} - \frac{\omega^2 + 2k_t^2 - 4rk_t}{\omega^4 - 4rk_t \omega^2 + 4k_t^4 + 8r^2 k_t^2 - 8rk_t^3} \right).$$

Let's assume that the wheel covers the distance from one axle between sleepers to the other, Fig. 3, and then the process is cyclically repeated. This approach corresponds both to the models in which the vehicle (wheel) movement along the track is conditional (wheel position relative to the track does not change in the local coordinate system, and movement relative to the track is taken into account by applying the corresponding external forces (accelerations, constraints), and the models in which movement along the track is set in explicit form, taking into account the wheel position along the track length.

Differential equation for describing fluctuations of such system will have the following form

$$m_t \frac{d^2 z}{dt^2} + \beta_t \frac{dz}{dt} + k_t z = P(t). \quad (2)$$

If one integrates along the length of the covered distance, then

$$m_t V^2 \frac{d^2 z}{dx^2} + \beta_t V \frac{dz}{dx} + k_t z = P(x), \quad (3)$$

where V – is the movement speed.

The equations (3) are reduced to the classical form

$$\frac{d^2 z}{dx^2} + 2r \frac{dz}{dx} + \omega^2 z = \frac{P(x)}{H}, \quad (4)$$

$$\text{where } r = \frac{\beta_t}{2m_t V}; \omega = \sqrt{\frac{k_t}{m_t V^2}}; H = m_t V^2.$$

The force will be presented using the expression

$$P(x) = Ae^{-kx} (\cos kx + \sin kx), \quad (5)$$

where A – is the parameter determining the force amplitude.

Then solution of the equation (4) will have following form:

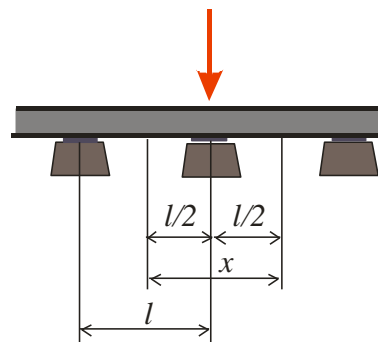


Fig. 3. Sample limits for deflection dependence on the strength

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

As a tool for solving such a problem it was used a model of stress-strain behavior of the rail track based on combination of equations of elastic wave propagation to describe the geometry of the outline of the part of the system space that is involved in the interaction at a given time and the equations of dynamic equilibrium of its deformation [5].

Findings

According to simulation results of the dynamic deflection of the rail, one can establish its dependence on the applied force. As noted above, this dependence will be determined in the area $x \in [0 \pm l/2]$, where l – is the distance between the sleeper axes. Example of the obtained deflections when the support is load-unloaded by a wheel for the area with elasticity modulus of underrail base of 32 MPa is shown in the Fig. 4

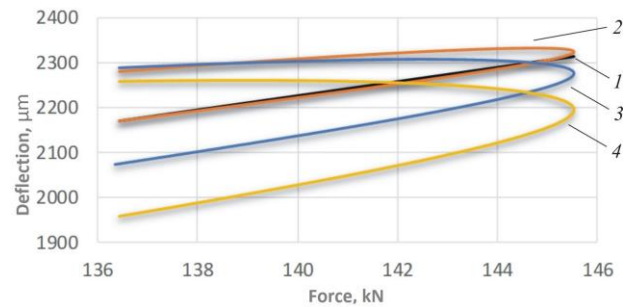


Fig. 4. Deflection of rail track according to modeling:

1 – statics; 2 – 80 km/h; 3 – 160 km/h; 4 – 240

Formula (6) shows the analytic dependence of the deflection on the force. Thus, the track characteristics can be determined as a result of approximating the data array of deflections obtained by modeling (Z_m) by function (6). Approximation algorithm according to criterion of the least squares:

$$\left. \begin{aligned} z &= f(k_t, \beta_t, m_t, P); Z_m = \{z_{m(i)} = f(P)\}; R = \sum_i (z_{m(i)} - z)^2; \\ \exists k_t &\in (k_{t(\min)}; k_{t(\max)}), \exists \beta_t \in [0; \beta_{t(\max)}], \exists m_t \in [0; m_{t(\max)}]: R \rightarrow \min; \\ k_t &\neq k_{t(\min)}; k_t \neq k_{t(\max)}; \beta_t \neq \beta_{t(\max)}; m_t \neq m_{t(\max)}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

The calculation results are summarized in the Table 1. They make it possible on reasonable grounds to set the rail track characteristics for the rolling stock modeling according to Lagrange-d'Amber principle. Analysis of results showed that application of reduced mass of track objects in such models is appropriate in cases when there is no complete deflection of the rail occurring at a sufficiently high speed [8], or in cases of simulation of stress-strain state of directly separate elements of the rail track.

Originality and Practical Value

Theoretically proved stiffness and dissipation coefficients of the rail track for calculations of rolling stock dynamics in modern models based on the Lagrange-d'Alembert equation systems are obtained. The established values as opposed to those given in other sources have a substantiated dependence on the track structure and movement speed.

Table 1

Characteristics of railway track as a support when interacting with a wheel

U , MPa	Indicator	Movement speed, km/h					
		80	120	160	200	240	280
21	k_t , MN/m	47.4	48.2	49.5	51.2	53.2	55.3
	β_t , kN s/m	100	70	60	40	40	40
32	k_t , MN/m	62.6	63.1	63.9	65.0	66.2	67.7
	β_t , kN s/m	130	80	70	60	50	50
57	k_t , MN/m	97.2	97.9	98.6	99.4	100.4	101.8
	β_t , kN s/m	210	160	110	90	80	70

Conclusions

The stiffness and dissipation coefficients of the rail track as a support reduced to interaction with the wheel in the models of vehicle movement are determined not only by the elasticity of the under-rail base layers, but also have a direct and inverse dependence on the movement speed, respectively.

The approaches of rail track representation in the rolling stock models, described by the equation systems based on the Lagrange-d'Alembert principle are expanded. The value of rigidity and dissipation coefficients of the railway track depending on its design and speed are obtained.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Вершинский, С. В. Динамика вагона / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, И. И. Челноков. – Москва : Транспорт, 1972. – 304 с.
2. Даніленко, Е. І. Залізнична колія : підруч. для вищ. навч. закл. : у 2 т. / Е. І. Даніленко. – Київ : Інпрес, 2010. – Т. 2. – 456 с.
3. Даренский, А. Н. Моделирование взаимодействия пути и подвижного состава при дискретном подрельсовом основании в зоне рельсовых стыков / А. Н. Даренский, А. В. Клименко // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2012. – № 4 (101). – С. 15–22.
4. Курган, М. Підготовка колії для підвищення швидкості руху поїздів / М. Курган, Д. Курган, Н. Хмельська // Укр. залізниця. – 2017. – № 9/10. – С. 14–21.
5. Курган, М. Б. Теоретичні основи впровадження високошвидкісного руху поїздів в Україні : монографія / М. Б. Курган, Д. М. Курган ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро : ДНУЗТ, 2016. – 283 с.
6. Connolly, D. P. Use of Conventional Site Investigation Parameters to Calculate Critical Velocity of Trains from Rayleigh Waves / D. P. Connolly, M. C. Forde // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2015. – Vol. 2476. – P. 32–36. doi: 10.3141/2476-05.
7. Kouroussis, G. A combined numerical/experimental prediction method for urban railway vibration / G. Kouroussis, K. E. Vogiatzis, D. P. Connolly // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2017. – Vol. 97. – P. 377–386. doi: 10.1016/j.soildyn.2017.03.030.
8. Kurhan, D. M. Features of perception of loading elements of the railway track at high speeds of the movement / D. M. Kurhan // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 2 (56). – С. 136–145. doi: 10.15802/stp20-15/42172.
9. Meli, E. An innovative wheel–rail contact model for railway vehicles under degraded adhesion conditions / E. Meli, A. Ridolfi // Multibody System Dynamics. – 2015. – Vol. 33. – Iss. 3. – P. 285–313. doi: 10.1007/s11044-013-9405-4.
10. Railway construction / Sz. Fisher, B. Eller, Z. Kada, A. Németh. – Győr : Universitas-Győr Nonprofit Kft., 2015. – 334 p.
11. Study of ground vibrations induced by railway traffic in a 3D FEM model formulated in the time domain: experimental validation / J. F. Ruiz, P. A. Costa, R. Calçada [et al.] // Structure and Infrastructure Engineering. – 2016. – Vol. 13. – Iss. 5. – P. 652–664. doi: 10.1080/15732479.2016.11-72649.

М. Б. КУРГАН¹, Д. М. КУРГАН^{2*}

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

ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ В МАТЕМАТИЧНІЙ МОДЕЛІ РУХУ ЕКІПАЖІВ

Мета. Задачі моделювання взаємодії колії та рухомого складу є базовими для більшості напрямків сучасних наукових досліджень залізничного транспорту. Складання моделі за принципом Лагранжа-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

д'Аламбера знайшло широке застосування для вирішення задач динаміки рухомого складу. Представлення залізничної колії у моделі руху екіпажів може здійснюватися декількома способами, які, серед іншого, будуть відрізнятися різною деталізацією. Метою даної роботи є створення методики представлення залізничної колії у математичних моделях взаємодії з рухомим складом та отримання практичних результатів для різних характеристик і конструкцій колії на рівні максимальної швидкості. **Методика.** Задача дослідження складається з визначення таких характеристик колії: приведена маса, коефіцієнт жорсткості, коефіцієнт дисипації. Як інструмент для її розв'язання була застосована модель напружено-деформованого стану залізничної колії, основана на поєднанні рівнянь поширення пружної хвилі для опису геометрії обрису частини простору системи, що залучена до взаємодії на даний момент часу, та рівнянь динамічної рівноваги її деформації. Це дає можливість урахування динаміки прогину підрейкової основи, що особливо важливо для умов пасажирського руху, який може відбуватися з високою швидкістю. **Результати.** Отримані теоретично обґрунтовані коефіцієнти жорсткості та дисипації залізничної колії для розрахунків динаміки рухомого складу в сучасних моделях на основі систем рівнянь, складених за принципом Лагранжа-д'Аламбера. Встановлені значення, на відміну від наведених в інших джерелах, мають обґрунтовану залежність, що поєднує конструкції колії та швидкості руху. **Наукова новизна.** Розширені підходи представлення залізничної колії у моделях рухомого складу, описаних системами рівнянь за принципом Лагранжа-д'Аламбера. Розроблена методика визначення характеристик залізничної колії для таких моделей за результатами варіантних розрахунків динамічного прогину рейки від проходження колеса. **Практична значимість.** Авторами отримані значення коефіцієнтів жорсткості й дисипації залізничної колії залежно від її конструкції та швидкості руху для практичного застосування у відповідних моделях взаємодії колії і рухомого складу.

Ключові слова: залізнична колія; взаємодія колії та рухомого складу; модель залізничної колії; жорсткість колії; дисипація колії; динамічний прогин колії; пасажирський рух

Н. Б. КУРГАН¹, Д. Н. КУРГАН^{2*}

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

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ЭКИПАЖЕЙ

Цель. Задачи моделирования взаимодействия пути и подвижного состава являются базовыми для большинства направлений современных научных исследований железнодорожного транспорта. Составление модели по принципу Лагранжа-д'Аламбера нашло широкое применение для решения задач динамики подвижного состава. Представление железнодорожного пути в модели движения экипажей может осуществляться несколькими способами, которые, среди прочего, будут отличаться детализацией. Целью данной работы является создание методики представления железнодорожного пути в математических моделях взаимодействия с подвижным составом и получение практических результатов для разных характеристик, конструкций пути на уровне максимальной скорости. **Методика.** Задача исследования состоит из определения таких характеристик пути: приведенная масса, коэффициент жесткости и коэффициент диссипации. В качестве инструмента для ее решения была использована модель напряженно-деформированного состояния железнодорожного пути, основанная на совместном использовании уравнений распространения упругих волн для описания геометрии очертания части пространства системы, которая задействована во взаимодействии на данный момент времени, и уравнений динамического равновесия ее деформации. Это дает возможность учесть динамику прогиба подрельсового основания, что особенно важно для условий пассажирского движения, которое может осуществляться с высокой скоростью. **Результаты.** Получены теоретически обоснованные коэффициенты жесткости и диссипации железнодорожного пути для расчетов динамики подвижного состава в современных моделях на основе систем уравнений, составленных по принципу Лагранжа-д'Аламбера. Установленные значения, в отличие от приведенных в других источниках, имеют обоснованную зависимость, которая объединяет конструкции пути и скорости движения. **Научная новизна.** Расшире-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ны подходы представления железнодорожного пути в моделях подвижного состава, описанных системами уравнений по принципу Лагранжа-д'Аламбера. Разработана методика определения характеристик железнодорожного пути для таких моделей по результатам вариантных расчетов динамического прогиба рельса от прохождения колеса. **Практическая значимость.** Авторами получены значения коэффициентов жесткости и диссипации железнодорожного пути в зависимости от конструкции и скорости движения для практического использования в соответствующих моделях взаимодействия пути и подвижного состава.

Ключевые слова: железнодорожный путь; взаимодействия пути и подвижного состава; модель железнодорожного пути; жесткость пути; диссипация пути; динамический прогиб пути; пассажирское движение

REFERENCES

1. Vershinskiy, S. V., Danilov, V. N., & Chelnokov, I. I. (1972). *Dinamika vagona*. Moscow: Transport. (in Russian)
2. Danilenko, E. I. (2010). *Zaliznychna koliia* [Textbook] (Vol. 2). Kyiv: Inpres. (in Ukrainian)
3. Darenskiy, A. N., & Klimenko, A. V. (2012). Modelirovaniye vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava pri diskretnom podrelsovom osnovanii v zone relsovykh stykov. *Informacijno-kerujuchi systemy na zaliznychnomu transporti*, 4(101), 15-22. (in Russian)
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. Kurhan, M. B., & Kurhan, D. M. (2016). *Teoretychni osnovy vprovadzhennia vysokoshvydkisnoho rukhu poizdiv v Ukraini* [Monograph]. Dnipro: Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. (in Ukrainian)
6. Connolly, D. P., & Forde, M. C. (2015). Use of Conventional Site Investigation Parameters to Calculate Critical Velocity of Trains from Rayleigh Waves. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2476, 32-36. doi: 10.3141/2476-05. (in English)
7. Kouroussis, G., Vogiatzis, K. E., & Connolly, D. P. (2017). A combined numerical/experimental prediction method for urban railway vibration. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 97, 377-386. doi: 10.1016/j.soildyn.2017.03.030. (in English)
8. Kurhan, D. M. (2015). Features of perception of loading elements of the railway track at high speeds of the movement. *Science and Transport Progress*, 2(56), 136-145. doi: 10.15802/stp20-15/42172. (in English)
9. Meli, E., & Ridolfi, A. (2015). An innovative wheel–rail contact model for railway vehicles under degraded adhesion conditions. *Multibody System Dynamics*, 33(3), 285-313. doi: 10.1007/s11044-013-9405-4. (in English)
10. Fisher, S., Eller, B., Kada, Z., & Németh, A. (2015). *Railway Construction*. Győr: Universitas-Győr Nonprofit Kft. (in English)
11. Fernández Ruiz, J., Costa, P. A., Calçada, R., Medina Rodríguez, L., & Colaço, A. (2016). Study of ground vibrations induced by railway traffic in a 3D FEM model formulated in the time domain: experimental validation. *Structure and Infrastructure Engineering*, 13(5), 652-664. doi: 10.1080/15732479.2016.1172649. (in English)

Prof. O. L. Tiutkin, Dr. Sc. (Tech.) (Ukraine); Prof. O. M. Darenskiy, Dr. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: June 06, 2017

Accessed: September 12, 2017

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463.004.4:656.211.7

А. О. ЛОВСЬКА^{1*}

^{1*}Каф. «Вагони», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 35, ел. пошта alyonalovskaya.vagons@gmail.com, ORCID 0000-0002-8604-1764

ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНТЕЙНЕРІВ У СКЛАДІ КОМБІНОВАНИХ ПОЇЗДІВ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ПОРОМОМ

Мета. Дане дослідження спрямоване на визначення навантаженості контейнерів у складі комбінованих поїздів при перевезенні залізничним поромом. **Методика.** Для досягнення зазначеної мети проведені дослідження прискорень (як складових динамічного навантаження), що діють на несучу конструкцію універсального контейнера типорозміру ІСС, розміщеного на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом. Для визначення прискорень, що діють на несучу конструкцію контейнера, складено математичну модель його переміщень при коливаннях залізничного порому. До уваги прийняті кутові переміщення залізничного порому відносно повздовжньої осі (крен), як випадку найбільшої навантаженості несучої конструкції, а також впливу на стійкість контейнера відносно рами вагона-платформи. При складанні рівнянь руху розглянуті три схеми взаємодії контейнера з вагоном-платформою, розміщеного на палубі залізничного порому: 1) відсутність переміщень вагона-платформи та контейнерів відносно початкового положення при коливаннях залізничного порому; 2) наявність переміщень вагона-платформи при коливаннях залізничного порому з урахуванням нерухомості контейнерів відносно рами вагона-платформи; 3) наявність переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів – відносно рами вагона-платформи. Вирішення диференціальних рівнянь руху здійснено в середовищі програмного забезпечення Mathcad із урахуванням зведення їх до нормальної форми Коші з наступним інтегруванням за методом Рунге-Кутти. **Результати.** Отримано уточнені значення прискорень, які діють на несучу конструкцію контейнерів, розміщених на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом. **Наукова новизна.** Запропоновано математичні моделі переміщень несучих конструкцій контейнерів, розміщених на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом. **Практична значимість.** Результати проведених досліджень можуть використовуватися при проектуванні несучих конструкцій контейнерів нового покоління, а також сприятимуть підвищенню ефективності комбінованих перевезень у напрямку міжнародних транспортних коридорів.

Ключові слова: контейнер; несуча конструкція; динаміка; моделювання; навантаженість конструкції; залізнично-поромні перевезення

Вступ

Географічне розміщення України на перехресті міжнародних транспортних коридорів зумовлює її участь у перевезеннях між країнами Європи та Азії. Для підвищення ефективності перевізного процесу набули розвитку комбіновані транспортні системи, одними з найбільш успішних серед таких симбіозів є залізнично-поромні перевезення.

На сьогоднішній день залізнично-поромні маршрути сполучають Україну з Болгарією,

Грузією, Туреччиною. Враховуючи прискорені темпи розвитку даного виду комбінованих перевезень прогнозується збільшення кількості залізнично-поромних маршрутів через акваторію Чорного моря.

Підвищення об'ємів вантажоперевезень між євроазіатськими країнами зумовлюють впровадження в експлуатацію нових транспортних маршрутів. Один з останніх серед таких є ланцюгом міжнародного транспортного коридору, який пов'язав між собою країни Європи та Азії

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

і почав експлуатуватися з початку минулого року, коли перший поїзд комбінованого транспорту перетнув акваторію Чорного моря на залізничному поромі і прослідував у Китай (рис. 1).

Для забезпечення безпеки перевезень поїздів комбінованого транспорту на залізничних поромках морем необхідним є проведення досліджень щодо динамічної навантаженості

і стійкості контейнерів відносно рам вагонів-платформ.

Аналіз останніх досліджень

Дослідження міцності контейнера-цистерни моделі ТК25 та оптимізація його несучої конструкції наведені в [5, 9]. При складанні моделі міцності контейнера-цистерни враховані нормативні величини навантажень, наведені в [1].



Рис. 1. Перевезення залізничними поромками вагонів-платформ, завантажених контейнерами:

a – рух вагонів-платформ з контейнерами до виставного парку;
б – накат вагонів-платформ на залізничний пором

Fig. 1. Flat cars transportation by train ferry loaded with containers:
a – flat cars movement with containers to the removable park;
b – rolling of flat cars on the train ferry

В роботах [10, 11] обґрунтовано доцільність проектування та впровадження в експлуатацію контейнерів-цистерн, як транспортних засобів, наведені результати оптимізації конструкції контейнерів-цистерн. Розроблено удосконалені конструкції контейнерів-цистерн для перевезення нафтопродуктів.

Конструкційні особливості контейнерів-цистерн для перевезення скраплених газів розглянуто у [12]. У якості матеріалу несучої конструкції контейнера використовується нержавіюча сталь. Для обмеження теплового впливу від навколишнього середовища на контейнер запропоновано його інкапсуляцію ізоляційною системою.

Особливості комп'ютерного моделювання несучої конструкції контейнера-цистерни наведені у [14]. В якості розрахункового методу застосований метод скінчених елементів.

Дослідження передачі теплового потоку через внутрішні опори циліндричних посудів на прикладі контейнера-цистерни розглянуті у [17].

В статті наведено симуляцію теплового потоку через багатопову опору, виконану з пластику.

Випробування металевих та композитних контейнерів під впливом низьких температур наведені у [13]. Визначено, які типи контейнерів доцільно використовувати для перевезення завданої номенклатури вантажів з урахуванням низької температури навколишнього середовища.

Питання щодо створення ідеальних несучих конструкцій залізничних транспортних засобів та вимоги, яким вони повинні відповідати на сучасному етапі розвитку висвітлені у [15, 16].

Важливо зазначити, що у розглянутих працях не приділялося уваги питанням дослідження динамічної навантаженості несучих конструкцій контейнерів у складі поїздів комбінованого транспорту при перевезенні залізничним поромом.

Мета

Метою досліджень, які наведені в статті є визначення навантаженості контейнерів

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

у складі комбінованих поїздів при перевезенні залізничним поромом. Для досягнення поставленої мети виділені наступні задачі:

1. Скласти математичні моделі переміщень контейнерів, розміщених на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом;

2. Отримати уточнені значення динамічних навантажень, які діють на несучі конструкції контейнерів, розміщених на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом;

3. Дослідити стійкість рівноваги контейнерів відносно рами вагона-платформи при перевезенні залізничним поромом.

Методика

Для визначення динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію контейнера у складі комбінованого поїзда при перевезенні на залізничному поромі складено математичну модель. При цьому враховано, що власні переміщення несучої конструкції вагона-платформи відносно палуби відсутні, оскільки ці переміщення будуть обмежені засобами закріплення відносно палуби (рис. 2, а).

До уваги прийняті кутові переміщення вагона-платформи з контейнерами навколо повздо-

вжньої осі X на кут θ (еквівалент коливань бічна хитавиця в динаміці вагонів), як випадку найбільшої навантаженості несучої конструкції вагона-платформи з контейнерами, а також забезпечення їх стійкості відносно палуби.

Розрахунки проведені стосовно залізничного порому «Герой Шипки», що рухається акваторією Чорного моря. В якості базової моделі вагона-платформи обрана модель 13-4012, а контейнера – модель 1СС, масою брутто 24 т.

Ударна дія морських хвиль на корпус залізничного порому з вагонами, розміщеними на його борту до уваги не приймалася. При складанні моделі враховано трохохвильний закон руху збудовуючої дії (морської хвилі) на залізничний пором з вагонами, розміщеними на його палубах та дисипативну складову, яка виникає при коливаннях залізничного порому в умовах морської хитавиці, а також курсові кути морської хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому та вітрове навантаження, що діє на надводну проекцію залізничного порому, вагона-платформи, розміщеного на верхній палубі та контейнерів.

$$\left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q} + \left(\Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q} = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \quad (1)$$

де $q = \theta$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню відносно повздожньої осі. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому; D – вагове водовитіснення; B – ширина залізничного порому; h – висота борта залізничного порому; Λ_θ – коефіцієнт опору коливанням; z_g – координата центру ваги залізничного порому; p' – вітрове навантаження; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збудує рух залізничного порому з вагонами, розміщеними на його палубах.

Початкове переміщення та швидкість залізничного порому прийняті рівними нулю.

Вхідні параметри математичної моделі: геометричні характеристики залізничного порому, гідрометеорологічні характеристики акваторії Чорного моря, координати розміщення вагонів відносно центру коливань залізничного порому.

Для розв'язання диференціального рівняння складено програму розрахунку в середовищі пакету Mathcad [6, 7], для чого воно зводилося до нормальної форми Коші, після чого інтегрувалися за методом Рунге – Кутти.

На рис. 3 наведено прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами, що розміщений на крайній від фальшборта колії верхньої палуби залізничного порому при кутових переміщеннях навколо повздожньої осі. Найбільша величина прискорення виникає при курсовому куті хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому $\chi = 120^\circ$.

Приведені величини прискорень не враховують горизонтальну складову прискорення вільного падіння.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу з контейнерами, склала близько 0,25g.

Для визначення прискорень, які діють на вагон-платформу з контейнерами при перевезенні залізничним поромом з урахуванням можливих переміщень вагона відносно палуби в умовах хвилювання моря (рис. 2, б), розроблена математична модель (2).

Перше рівняння математичної моделі характеризує переміщення залізничного порому

$$\begin{cases} \left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q}_1 + \left(\Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q}_1 = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \\ I_\theta^{ВПФ} \cdot \ddot{q}_2 = p'_{ВПФ} \cdot \frac{h_{ВПФ}}{2} + M_{ВПФ}^\Pi, \end{cases} \quad (2)$$

де $q_1 = \theta_1$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню залізничного порому відносно повздовжньої осі; $q_2 = \theta_2$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню вагона-платформи з контейнерами відносно повздовжньої осі. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому; $I_\theta^{ВПФ}$ – момент інерції вагона-платформи з контейнерами відносно повздовжньої осі; $p'_{ВПФ}$ – вітрове навантаження на бокову проекцію вагона-платформи з контейнерами, розміщеного на верхній палубі залізничного порому; $h_{ВПФ}$ – висота бокової проекції вагона-платформи з контейнерами; $M_{ВПФ}^\Pi$ – момент сил, що виникає між вагоном-платформою та палубою залізничного порому при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі.

Початкове переміщення та швидкість залізничного порому прийняті рівними нулю, для вагона-платформи з контейнерами початкове переміщення визначено можливою податливістю його вузлів відносно палуби (буксовий вузол відносно осі колісної пари, рама візка відносно осі буксового вузла, фрикційний клин відносно середини боковини, надресорна балка

в умовах хвилювання моря, а друге – вагона-платформи з контейнерами відносно палуби.

При складанні математичної моделі враховано, що вагон-платформа має власну ступінь вільності відносно палуби залізничного порому, яка може бути обумовлена:

- нерівністю палуби;
- можливими відхиленнями в геометрії рами;
- несиметричністю закріплення вагона-платформи, тощо.

відносно фрикційного клина, п'ятник по підп'ятнику [8]) та склала 31 мм. Початкова швидкість прийнята рівною нулю.

В розробленій математичній моделі не враховано ударну дію морських хвиль на корпус залізничного порому з вагонами, розміщеними на його борту.

Результати розрахунків наведені на рис. 4. Загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу з контейнерами, склала близько 0,3g.

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що дана величина прискорення перевищує прискорення, яке діє контейнер, розміщений на вагоні-платформі з урахуванням жорсткого закріплення відносно палуби майже на 20 %.

З метою визначення прискорень при наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів відносно рами вагона-платформи складено математичну модель, яка враховує кутові переміщення елементів системи («залізничний пором – вагон-платформа – контейнер») навколо повздовжньої осі (рис. 2, в).

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

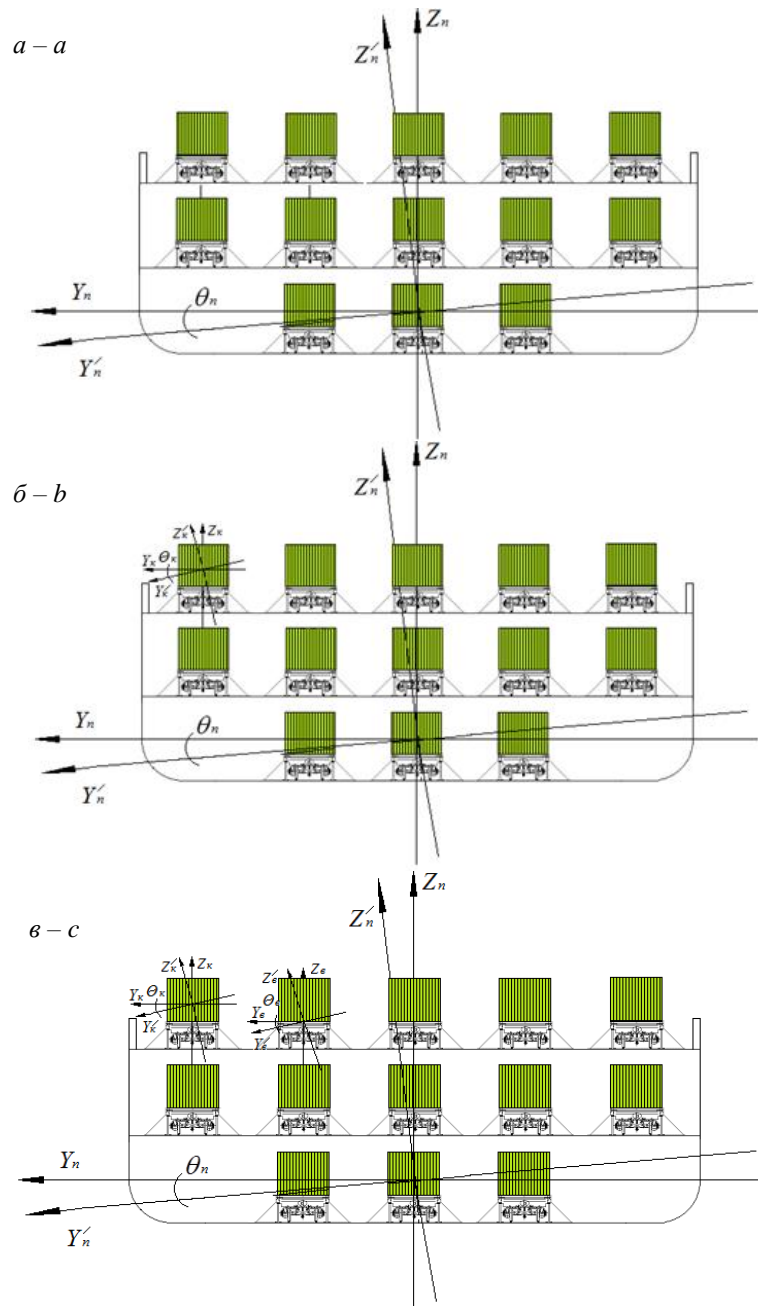


Рис. 2. Розрахункова схема для дослідження кутових переміщень відносно поздовжньої осі вагона-платформи з контейнерами, розміщеними на залізничному поромі:

a – при відсутності переміщень вагона-платформи з контейнерами відносно палуби;

b – при наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та відсутності переміщень контейнерів відносно рами вагона-платформи;

c – при наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів відносно рами вагона-платформи

Fig. 2. Scheme for the study of angular displacements in relation to the longitudinal axis of flat cars with containers located on a train ferry:

a – in the absence of displacements of the flat car with containers relative to the deck;

b – in the presence of displacements of the flat car relative to the deck and absence of container movements relative to the flat car frame;

c – in the presence of displacements of the flat car relative to the deck and containers relative to the flat car frame

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

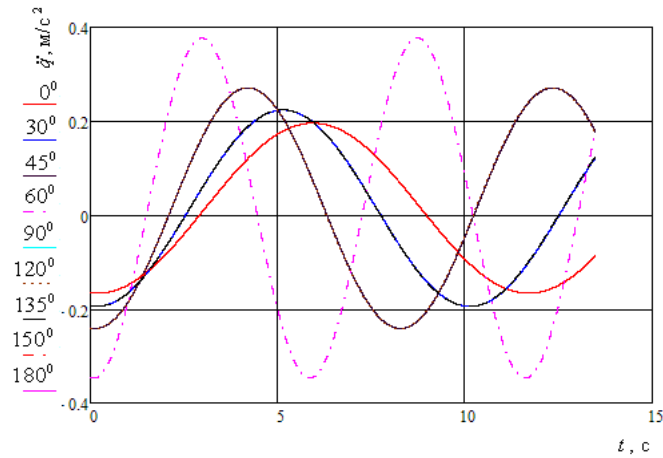


Рис. 3. Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами при коливаннях залізничного порому

Fig. 3. Accelerations acting on the bearing structure of a flat car with containers at the fluctuations of the train ferry

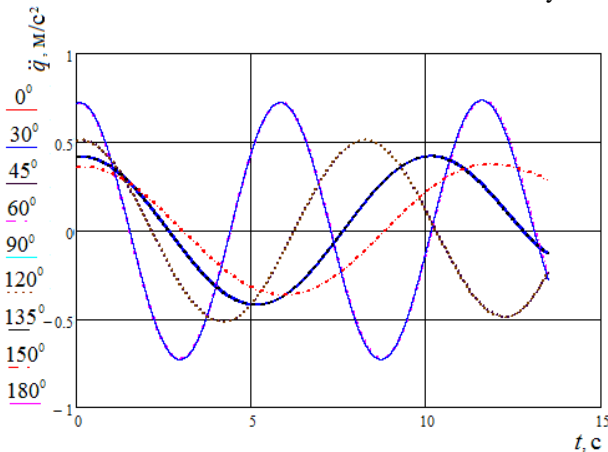


Рис. 4. Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами при перевезенні залізничним поромом з урахуванням можливих переміщень відносно палуби

Fig. 4. Accelerations acting on the bearing structure of the flat car with containers when transportation by train ferry taking into account possible displacements relative to the deck

$$\left\{ \begin{aligned} & \left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q}_1 + \left(\Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q}_1 = p'_{3П} \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), & (3) \\ & I_{ВПФ}^0 \cdot \ddot{q}_2 = p'_{ВПФ} \cdot \frac{h_{ВПФ}}{2} + M_{ВПФ}^П + M_{ВПФ}^К, & (4) \\ & I_K^0 \cdot \ddot{q}_3 = p'_K \cdot \frac{h_K}{2} + M_K^{ВПФ}, & (5) \end{aligned} \right.$$

де $q_1 = \theta_1$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо поздовжньої осі залізничного порому; $q_2 = \theta_2$ – уза-

гальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо поздовжньої осі вагона-платформи; $q_3 = \theta_3$ – узагальнена координата,

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

що відповідає кутовому переміщенню навколо повздовжньої осі контейнера. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому; $M_{ВПФ}^K$ – момент сил, що виникає між вагоном-платформою та контейнерами при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі; I_K^0 – момент інерції контейнера; h_K – висота бокової поверхні контейнера; p'_K – вітрове навантаження на бокову поверхню контейнера; $M_K^{ВПФ}$ – момент сил, що виникає між контейнером та вагоном-платформою при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі.

При визначенні моменту сил, що виникає між вагоном-платформою та палубою взята до уваги горизонтальна складова ваги бруто з урахуванням сили тертя між складовими вагона. При визначенні моменту сил між вагоном-платформою та контейнером до уваги прийнята горизонтальна складова ваги бруто контейнера, сили тертя між фітинговим упором та фітингом, а також геометрія фітингового упору.

Прийняте припущення, що вагон-платформа при кутових переміщеннях навколо повздовжньої осі має власну ступінь вільності до моменту часу, коли сила тертя F_{TP} прийме значення менше за динамічне навантаження P_0 . Коли це станеться – кузов переміститься на величину можливих горизонтальних зміщень елементів конструкції [8] та буде повторювати траєкторію переміщення залізничного порому. Для урахування цього у математичній моделі при її розв'язанні введено умову: if $t = n$ then $q_2 = q_1$, де n – момент часу, коли $F_{TP} < P_0$. Теж саме стосується і контейнера, можливі зміщення якого обумовлені наявністю технологічного зазору між фітинговим упором та фітингом [2–4]. Тобто, вагон-платформа має власну ступінь вільності, обмежену величиною можливих зміщень елементів конструкції, після чого він буде повторювати траєкторію переміщення залізничного порому. Контейнер має власну ступінь вільності до моменту часу коли здійсниться спирання вертикальної стінки фітинга у фітинговий упор.

На підставі проведених розрахунків встановлено, що найбільші величини прискорень виникають при курсових кутах хвилі по відно-

шенню до корпусу залізничного порому $\chi = 60^0$ та $\chi = 120^0$. Результати розрахунків наведені на рис. 5.

При цьому максимальні прискорення контейнера склали близько $2,5 \text{ м/с}^2$, вагона-платформи – $1,8 \text{ м/с}^2$ (рис. 5).

Чисельні значення прискорень приведені без урахування складової прискорення вільного падіння.

Загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу, складала близько $0,4g$, а на контейнера, розміщені на ньому, близько $0,47g$.

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що дана величина прискорення перевищує прискорення, яке діє на контейнер, розміщений на вагоні-платформі з урахуванням жорсткого закріплення відносно палуби майже на 50 %, а при наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та відсутності переміщень контейнерів відносно рами на 35 %.

Для оцінки стійкості контейнерів відносно рами вагона-платформи проведені дослідження коефіцієнту стійкості рівноваги k_c при кутових переміщеннях залізничного порому відносно повздовжньої осі (рис. 6).

Для забезпечення стійкості рівноваги контейнера відносно рами вагона-платформи повинна виконуватися умова:

$$k_c = \frac{M_{\text{відн}}}{M_{\text{пер}}} \geq 1, \quad (6)$$

де $M_{\text{відн}}$ – величина відновлюючого моменту; $M_{\text{пер}}$ – величина перекидаючого моменту.

$$M_{\text{пер}} = p'_k \cdot \frac{h_k}{2} + M_{\text{оп}} \cdot (g \cdot \sin \theta + \ddot{q}_k) \cdot \frac{h_k}{2}, \quad (7)$$

$$M_{\text{відн}} = P_{\text{оп}} \cdot \cos \theta \cdot \frac{B_k}{2} + n_{\phi} \cdot \left(M_{\text{оп}} \cdot (g \cdot \sin \theta + \ddot{q}_k) \right) \cdot \frac{h_{\phi}}{2}, \quad (8)$$

де $M_{\text{оп}}$ – маса бруто контейнера; \ddot{q}_k – прискорення, яке діє на контейнер при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі; $P_{\text{оп}}$ – вага бруто контейнера; B_k – ширина ко-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

нтейнера; n_{ϕ} – кількість фітингових упорів на які здійснюється обпирання контейнера при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі; h_{ϕ} – висота фітингового упора.

При визначенні перекидаючого моменту взяті до уваги максимальні чисельні значення прискорень, які розраховані за допомогою математичного моделювання (1–5) та є складовими динамічного навантаження, що діють на контейнер. При цьому поріг стійкості встановлюється у випадку коли величини відновлюючого та перекидаючого моментів рівні між собою. Проведені дослідження дозволили зробити висновок, що коефіцієнт стійкості контейнера відносно рами вагона-платформи має значення менше 1 при наявності переміщень фітингів контейнерів відносно фітингових упорів вагона-платформи. При цьому стійкість контейнера

забезпечується при кутах крену залізничного порому до 25° .

Результати

Отримано уточнені величини динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами, розміщеними на ньому при перевезенні на залізничному поромі.

Наукова новизна та практична значимість

Розроблено математичні моделі переміщень контейнерів, розміщених на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом.

Результати проведених досліджень можуть використовуватися при проектуванні несучих конструкцій контейнерів нового покоління з покращеними техніко-економічними показниками.

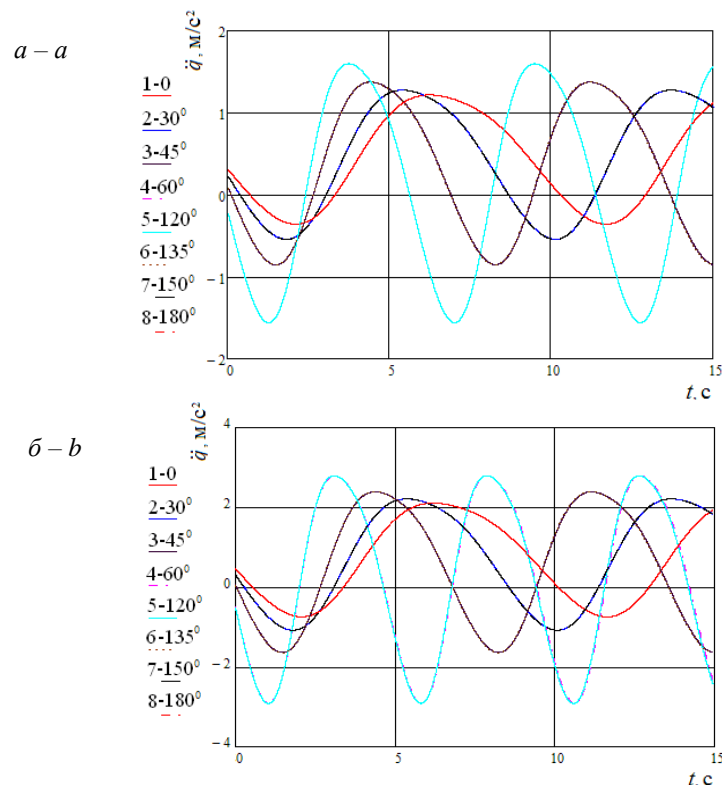


Рис. 5. Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами при перевезенні залізничним поромом з урахуванням можливих переміщень відносно початкового положення: a – вагон-платформа; b – контейнер

Fig. 5. Accelerations acting on the supporting structure of the flat car with containers when traveling by the train ferry taking into account possible displacements relative to the initial position: a – flat car; b – container

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

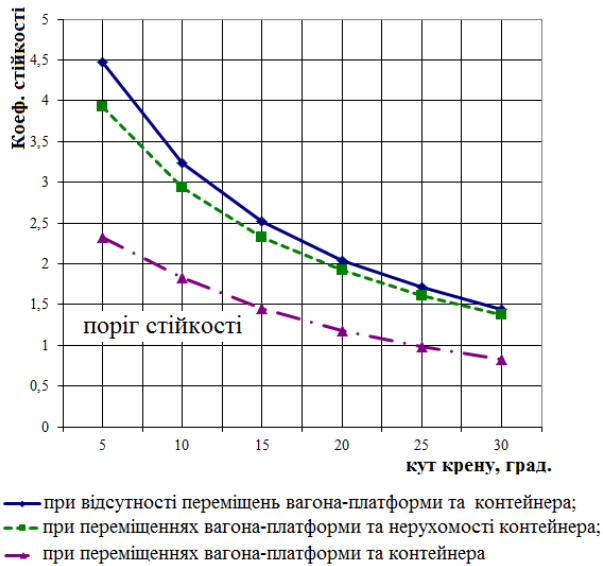


Рис. 6. Залежність коефіцієнту стійкості контейнера відносно рами вагона-платформи від кутів крену залізничного порому

Fig. 6. Dependence of the container stability coefficient relative to the flat car frame on the banking angle of the train ferry

Висновки

На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Проведено дослідження динамічної навантаженості несучих конструкцій контейнерів, розміщених на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом. Отримано уточнені значення прискорень, які діють на несучі конструкції контейнерів;

2. Визначено максимальні кути крену залізничного порому при яких забезпечується стійкість контейнерів відносно рами вагона-платформи;

3. Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності комбінованого транспорту в напрямку міжнародних транспортних коридорів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- ГОСТ 31232–2004. Контейнеры для перевозки опасных грузов. Требования по эксплуатационной безопасности. – Введ. 2005–10–01. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2005. – 6 с.
- ГОСТ 20259–80. Контейнеры универсальные. Общие технические условия. – Введ. 1982–01–01. – Москва : ИПК стандартов, 2002. – 17 с.
- ГОСТ 18477–79. Контейнеры универсальные. Типы, основные параметры и размеры. – Введ. 1980–01–01. – Москва : ИПК стандартов, 2004. – 12 с.
- ГОСТ 20527–82. Фитинги угловые крупнотоннажных контейнеров. Конструкция и размеры. – Введ. 1983–01–01. – Москва : ИПК стандартов, 2004. – 9 с.
- Дослідження міцності контейнера-цистерни удосконаленої конструкції при комп'ютерному моделюванні експлуатаційних умов / А. О. Ловська, О. В. Фомін, А. М. О कोरोков, О. М. Мельничук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 2. – С. 180–188.
- Дьяконов, В. МATHCAD 8/2000 : спец. справ. / В. Дьяконов. – Санкт-Петербург : Питер, 2000. – 592 с.
- Кириянов, Д. В. Mathcad 13 / Д. В. Кириянов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. – 608 с.
- Конструирование и расчет вагонов / В. В. Лукин, Л. А. Шадур, В. И. Котуранов, А. А. Хохлов, П. С. Анисимов. – Москва : УМК МПС России, 2000. – 731 с.
- Ловська, А. О. Удосконалення контейнерів-цистерн для перевезення нафтопродуктів шляхом впровадження в їх несучі конструкції круглих труб / А. О. Ловська, О. М. Мельничук, О. В. Фомін // Залізн. трансп. України. – 2015. – № 1. – С. 40–44.
- Мямлин, С. В. Перспективные конструкции контейнеров-цистерн для перевозки светлых нефтепродуктов, аммиака и углеводородных газов / С. В. Мямлин, Ю. В. Кебал, С. М. Кондратюк // Залізн. трансп. України. – 2012. – № 2 – С. 44–46.
- Lisowski, E. Transport and storage of lng in container tanks / E. Lisowski, W. Czyzycki // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2011. – Vol. 18, no. 3. – P. 193–201.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

12. Lisowski, E. Wdrożenie produkcji cystern kontenerowych do transportu i przechowywania gazów skroplonych / E. Lisowski, W. Czyżycki, K. Łazarczyk // Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach. – 2012. – R. 56, nr 2. – P. 25–31.
13. Metal and Composite Intermodal Containers in Comparative Cold Tests with Wood Chips / J. Föhr, K. Karttunen, J. Enström [et al.] // Journal of Sustainable Bioenergy Systems. – 2015. – Vol. 05. – Iss. 01. – P. 32–39. doi: 10.4236/jsbs.2015.51003.
14. 3d modeling of a shrink fitted concave ended cylindrical tank for automotive industry / M. C. Ghiță, C. A. Micu, M. D. L. Țălu, Ș. D. L. Țălu // Acta Technica Corviniensis : Bulletin of Engineering. – 2013. – Vol. 6. – Iss. 4. – P. 87–92.
15. Fomin, O. V. Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages / O. V. Fomin // Наук. вісник НГУ. – 2015. – № 2. – С. 68–76.
16. Fomin, O. V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars / O. V. Fomin // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – No. 5. – P. 31–43.
17. Wojciech czyżycki modeling of heat flow through multilayer internal supports of cryogenic vessels // Technical transportations. – 2015. – № 2. – P. 27–34.

А. А. ЛОВСКАЯ^{1*}

^{1*}Каф. «Вагоны», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61500, тел. +38 (057) 730 10 35, эл. почта alyonalovskaya.vagons@gmail.com, ORCID 0000-0002-8604-1764

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ КОНТЕЙНЕРОВ В СОСТАВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЕЗДОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПАРОМОМ

Цель. Данное исследование направлено на определение нагруженности контейнеров в составе комбинированных поездов при перевозке железнодорожным паромом. **Методика.** Для достижения поставленной цели проведены исследования ускорений (как составляющих динамической нагрузки), которые действуют на несущую конструкцию универсального контейнера типоразмера 1СС, размещенного на вагонеплатформе при перевозке железнодорожным паромом. Для определения ускорений, которые действуют на несущую конструкцию контейнера, составлена математическая модель его перемещений при колебаниях железнодорожного парама. Во внимание приняты угловые перемещения железнодорожного парама относительно продольной оси (крен), как случая наибольшей нагруженности несущей конструкции, а также влияния на устойчивость контейнера относительно рамы вагона-платформы. При составлении уравнений движения рассмотрены три схемы взаимодействия контейнера с вагоном-платформой, размещенного на палубе железнодорожного парама: 1) отсутствие перемещений вагона-платформы и контейнеров относительно первоначального положения при колебаниях железнодорожного парама; 2) наличие перемещений вагона-платформы при колебаниях железнодорожного парама с учетом неподвижности контейнеров относительно рамы вагона-платформы; 3) наличие перемещений вагона-платформы относительно палубы и контейнеров – относительно рамы вагона-платформы. Решение дифференциальных уравнений движения осуществлено в среде программного обеспечения Mathcad с учетом сведения их к нормальной форме Коши с последующим интегрированием по методу Рунге-Кутты. **Результаты.** Получены уточненные значения ускорений, которые действуют на несущую конструкцию контейнеров, размещенных на вагонеплатформе при перевозке железнодорожным паромом. **Научная новизна.** Предложены математические модели перемещений несущих конструкций контейнеров, размещенных на вагонеплатформе при перевозке железнодорожным паромом. **Практическая значимость.** Результаты проведенных исследований могут использоваться при проектировании несущих конструкций контейнеров нового поколения, а также будут способствовать повышению эффективности комбинированных перевозок в направлении международных транспортных коридоров.

Ключевые слова: контейнер; несущая конструкция; динамика; моделирование; нагруженность конструкции; железнодорожно-паромные перевозки

A. O. LOVSKA^{1*}

^{1*}Dep. «Cars», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61500, tel. +38 (057) 730 10 35, e-mail alyonalovskaya.vagons@gmail.com, ORCID 0000-0002-8604-1764

DETERMINATION OF THE LOADING OF CONTAINERS IN MIXED TRAINS WHEN TRANSPORTING BY TRAIN FERRIES

Purpose. The study is aimed at determination of the loading of containers in mixed trains when transporting by train ferries. **Methodology.** In order to achieve the objective the author studied accelerations (as components of the dynamic load) influencing the bearing structure of a 1CC standard container located on a flat car during transportation by train ferry. In order to determine accelerations influencing the bearing structure of a container, a mathematical model of the container's movements under train ferry oscillations was made. The model considered angular displacements of a train ferry relative to the longitudinal axis (bank) as being the maximum load on the bearing structure, as well as changes in the container stability relative to the flat car frame. While working out the motion equations three diagrams of interrelation between the container and the flat car located on the train ferry deck were considered: 1) absence of displacements of the flat car and containers relative to the initial place under the train ferry oscillations; 2) with displacements of the flat car under the train ferry oscillations when containers are immovable relative to the flat car frame; 3) with displacements of the flat car relative to the deck and relative to the flat car frame. The differential equations of motion were solved in Mathcad taking into account their reduction to a normal Cauchy problem with a subsequent integration by the Runge–Kutta method. **Findings.** Refined values of accelerations influencing the bearing structure of containers located on the flat car while transporting by train ferry were obtained. **Originality.** The mathematical models of displacements of container bearing structures located on a flat car while transporting by train ferry were proposed. **Practical value.** The results of investigations can be applied for designing bearing structures of new generation containers, besides they may improve the efficiency of mixed transportation along the international transport corridors.

Keywords: container; bearing structure; dynamics; modeling; structural loading; railway ferry transportations

REFERENCES

1. Konteynery dlya perevozki opasnykh gruzov. Trebovaniya po ekspluatatsionnoy bezopasnosti, GOST 31232–2004 (2005). (in Russian)
2. Konteynery universalnyye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya, GOST 20259-80 (2002). (in Russian)
3. Konteynery universalnyye. Tipy, osnovnyye parametry i razmery, GOST 18477-79 (2004). (in Russian)
4. Fitingi uglovye krupnotonnazhnykh konteynerov. Konstruktsiya i razmery, GOST 20527-82 (2004). (in Russian)
5. Lovskaya, A. O., Fomin, O. V., Okorokov, A. M. & Melnychuk, O. M. (2015). Research of a tank-container strength of improved construction using the computer simulation of operating conditions. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 2, 180-188. (in Ukrainian)
6. Dyakonov, V. (2000). *MATHCAD 8/2000*. Saint Petersburg, SPb: Piter. (in Russian)
7. Kiryanov, D. V. (2006). *Mathcad 13*. Saint Petersburg, SPb: BHV. (in Russian)
8. Lukin, V. V., Shadur, L. A., Koturanov, V. I., Hohlov, A. A., & Anisimov, P. S. (2000). *Konstruirovaniye i raschet vagonov*. Moscow: UMK MPS Rossii. (in Russian)
9. Lovskaya, A., Fomin, O., & Melnichuk, O. (2015). Improvement of tank containers for petroleum products transportation using round pipes as their supporting structures. *Railway Transport of Ukraine*, 1, 40-44. (in Ukrainian)
10. Myamlin, S. V., Keбал, Yu. V., & Kondratyuk, S. M. (2012). Perspektivnyye konstruksii konteynerov-tsistern dlya perevozki svetlykh nefteproduktov, ammiaka i uglevodorodnykh gazov. *Railway Transport of Ukraine*, 2, 44-46. (in Russian)
11. Lisowski, E., & Czyzycki, W. (2011). Transport and storage of lng in container tanks. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 18(3), 193-201. (in English)
12. Lisowski, E., Czyzycki, W., & Łazarczyk, K. (2012). Wdrożenie produkcji cystern kontenerowych do transportu i przechowywania gazów skroplonych. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach*, 56(2), 25-31. (in Polish)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

13. Föhr, J., Karttunen K., Enström, J., Johannesson, T. & Ranta, T. (2015). Metal and Composite Intermodal Containers in Comparative Cold Tests with Wood Chips. *Journal of Sustainable Bio-energy Systems*, 5, 32-39. doi:10.4236/jsbs.2015.51003. (in English)
14. Ghita, M. C, Micu, C. A., Talu, M. D L, & Talu, S. D L. (2013). 3d modelling of a shrink fitted concave ended cylindrical tank for automotive industry Acta Technica Corviniensis. *Bulletin of Engineering*, 6(4), 87-92. (in English)
15. Fomin, O. V. (2015). Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2, 68-76. (in English)
16. Fomin, O. V. (2014). Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars. *Metallurgical and Mining Industry*, 5, 31-43. (in English)
17. Wojciech czyżycki modeling of heat flow through multilayer internal supports of cryogenic vessels (2015). *Technical transportations*, 2, 27-34. (in English)

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. С. В. Мямлиным (Україна); д.т.н., проф. І. Е. Мартиновим (Україна)

Надійшла до редколегії: 08.08.2017

Прийнята до друку: 23.11.2017

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463Л. А. МУРАДЯН^{1*}, Д. О. ПОДОСЬОНОВ^{2*}, В. Ю. ШАПОШНИК^{3*}

^{1*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, ел. пошта leontymuradian@gmail.com, ORCID 0000-0003-1781-4580

^{2*}Регіональна філія «Придніпровська залізниця», пр. Дмитра Яворницького, 108, Дніпро, Україна, 49038, тел. +38 (056) 373 15 19, ел. пошта d.a.podosenov@gmail.com, ORCID 0000-0002-7058-5230

^{3*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, ел. пошта vladislav.sh91@gmail.com, ORCID 0000-0003-4701-6491

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВЕЛИЧИНИ ЗНОСУ ПАРИ ТЕРТЯ «П'ЯТНИК – ПІДП'ЯТНИК» ВІД ПРОБІГУ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

Мета. Дослідження спрямоване на розгляд взаємодії циліндричних поверхонь пари тертя «п'ятник – підп'ятник» вантажного вагона. Необхідно теоретично дослідити процес зносу та отримати залежність величини зносу підп'ятника від пробігу вагона з урахуванням силового навантаження, фізико-механічних і триботехнічних властивостей сполучених матеріалів для подальшого моделювання та керування величиною міжремонтного пробігу за критерієм зносу відповідних ресурсовизначальних елементів вантажних вагонів. **Методика.** Для теоретичних досліджень залежності величини зносу пари тертя «п'ятник – підп'ятник» від пробігу вантажного вагона було використано теорію тертя та зношування твердих тіл. **Результати.** У роботі розглянуто взаємодію циліндричних поверхонь пари тертя «п'ятник – підп'ятник» вантажного вагона у вигляді моделі «вал-втулка». У результаті запропоновані залежності постійного та змінного зносів даної пари тертя для випадків, коли діють сили в поперечному та поздовжньому напрямках. Отримана залежність величини зносу підп'ятника від пробігу вантажного вагона, що враховує силове навантаження, фізико-механічні та триботехнічні властивості сполучених матеріалів. На її основі, застосовуючи для ремонту нові матеріали з різними властивостями, можна моделювати стан зносу циліндричних поверхонь пари тертя «п'ятник–підп'ятник», що дозволяє у подальшому керувати величиною міжремонтного пробігу вантажного вагона. Також у роботі, на прикладі піввагона 12-7023, на основі отриманого виразу були побудовані залежності середньої величини зносу підп'ятника для випадків із різними значеннями коефіцієнта використання пробігу та швидкості руху поїзда. При цьому показано, що з підвищенням швидкості руху поїзда до 100 км/год, середня величина зносу підп'ятника піввагона 12-7023 нижче на 25 %, ніж при швидкості 80 км/год. **Наукова новизна.** У роботі за критерієм зносу розглянуто взаємодію циліндричних поверхонь пари тертя «п'ятник – підп'ятник» вантажного вагона та вперше отримано залежність величини зносу підп'ятника від пробігу, що враховує силове навантаження, фізико-механічні та триботехнічні властивості сполучених матеріалів. Застосовуючи для ремонту нові матеріали з різними властивостями, на основі отриманої залежності можна проводити моделювання стану зносу циліндричних поверхонь пари тертя «п'ятник – підп'ятник», тобто керувати величиною міжремонтного пробігу вантажного вагона. **Практична значимість.** Результати роботи дозволяють встановити величину зносу підп'ятника для відповідного експлуатаційного пробігу вантажного вагона.

Ключові слова: вантажні вагони; величина зносу; підп'ятник; міжремонтний пробіг; силове навантаження

Вступ

Залізничний транспорт в усьому світі займає значну частину ринку послуг, які пов'язані з організацією та забезпеченням перевізного процесу [5–7, 11, 13, 14]. Основною і головною задачею залізниць, що входять до ПАТ «Українська залізниця», є підвищення рівня безпеки руху поїздів, на яку при організації пе-

ревізної роботи значною мірою впливає технічний стан вантажного вагонного господарства [3, 4, 6, 15]. Для підвищення техніко-економічних показників в останній час розглядається можливість збільшення міжремонтних пробігів вантажних вагонів без зниження рівня безпеки руху поїздів. Останнє досягається на основі застосування нових, більш ефективних, технологій ремонту та відновлення робочих поверхонь вузлів вантажних вагонів, що забез-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

печують необхідне підвищення зносостійкості існуючих експлуатованих зразків з подальшим збільшенням їх міжремонтного пробігу.

Експлуатація вагонного парку в наступний час відбувається в умовах підвищення вантажопідйомності вагона і швидкостей руху, у результаті чого навіть при русі на прямолінійних ділянках сила інерції досягає значень, що достатні для відриву п'ятників від поверхні підп'ятника [5–7]. При обстеженнях надресорних балок встановлено [5–7], що глибина зношування опорних поверхонь підп'ятників, опорних поверхонь зовнішніх і внутрішніх буртів різко зросла. Зазначене відбувається при підвищенні інтенсивності переміщень п'ятників відносно підп'ятників. Додатковий вплив відбувається при кромочному обпиранні п'ятників на підп'ятники на наступному їх відносному повороті під час проходження кривих, що в результаті призводить до максимальної глибини зношування опорної поверхні підп'ятників, інтенсивність якої може складати 1..3 мм у рік.

В експлуатації вантажних вагонів відбувається нерівномірне зношування підп'ятників, що пов'язане з інтенсивністю проходження вагонів по кривим колії малого радіусу [5–7]. При цьому відбувається нерівномірне збільшення навантажень у візку вантажного вагона (розвантаження одного буксового вузла, надмірне збільшення навантаження на протилежний буксовий вузол тощо). Типовий стан підп'ятника вантажного вагона при надходженні до планового ремонту зображений на рис.1.

У теоретичних викладках, наприклад у [8–10, 12, 13, 15], не існує достовірних залежностей для визначення величини чи інтенсивності зношування для робочих поверхонь підп'ятників вантажних вагонів. Такі залежності необхідні для подальшого моделювання процесу зношування п'ятникових вузлів при використанні нових матеріалів з різними фізико-механічними та триботехнічними властивостями у процесі ремонту та відновлення для отримання можливості керування величиною міжремонтного пробігу за критерієм зносу відповідних ресурсовизначальних елементів вантажних вагонів.



Рис. 1. Знос бурта підп'ятника вантажного вагона

Fig. 1. Depreciation of the center pad rim in the freight car

Мета

Розглянути взаємодію циліндричних поверхонь пари тертя «п'ятник – підп'ятник» вантажного вагона. Теоретично дослідити процес зношування та отримати залежність величини зносу підп'ятника від пробігу вагона з урахуванням силового навантаження, фізико-механічних та триботехнічних властивостей сполучених матеріалів для подальшого моделювання та керування величиною міжремонтного пробігу за критерієм зносу відповідних ресурсовизначальних елементів вантажних вагонів.

Методика

Взаємодію циліндричних поверхонь пари тертя «п'ятник – підп'ятник» вантажного вагона методом моделювання представимо у вигляді моделі «вал-втулка». При виведенні виразів зношення будемо використовувати теоретичні положення Б.І. Костецького [1, 2, 8].

Розглянемо модель «вал-втулка» у вигляді спрощеної схеми взаємодії пари тертя «п'ятник – підп'ятник», що приведена на рис. 2.

Як бачимо, у ненавантаженому стані між п'ятником та підп'ятником існує зазор δ . Але

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

у процесі експлуатації, цей зазор по твірній, залежно від навантаження, буде змінюватися. Тобто взаємодія циліндричних поверхонь пари тертя «п'ятник – підп'ятник» відбувається на деякій контактній площині з виникненням відповідного контактного тиску між елементами.

Далі (на рис. 3) представимо спрощену розрахункову схему взаємодії пари тертя «п'ятник – підп'ятник» для випадку, коли п'ятник діє на підп'ятник з силою Q для визначення контактного тиску та величин зносу.

Площа контакту елементарної площадки в даному випадку буде визначатися наступною формулою:

$$dS = \frac{hd_1}{2} d\alpha, \quad (1)$$

де $d\alpha$ – кут сегменту, що визначає площу контакту елементарної площадки; h – висота взаємодії циліндричних поверхонь пари тертя «п'ятник – підп'ятник».

Сила нормального тиску на елементарну площадку при дії на підп'ятник навантаження Q визначатиметься як

$$dN = p \frac{hd_1}{2} d\alpha, \quad (2)$$

де p – величина контактний тиску на елементарну площадку.

Тоді при взаємодії, контактний тиск на елементарній площадці буде дорівнювати:

$$p = \frac{2}{hd_2} \frac{dN}{d\alpha}. \quad (3)$$

На елементарній площадці буде виникати сила тертя, яка пропорційна нормальному тиску:

$$dF = fp \frac{hd_2}{2} d\alpha. \quad (4)$$

З останнього виразу контактний тиск на елементарній площадці буде дорівнювати:

$$p = \frac{2}{fhd_2} \frac{dF}{d\alpha}, \quad (5)$$

де f – коефіцієнт тертя між поверхнями п'ятника та підп'ятника.

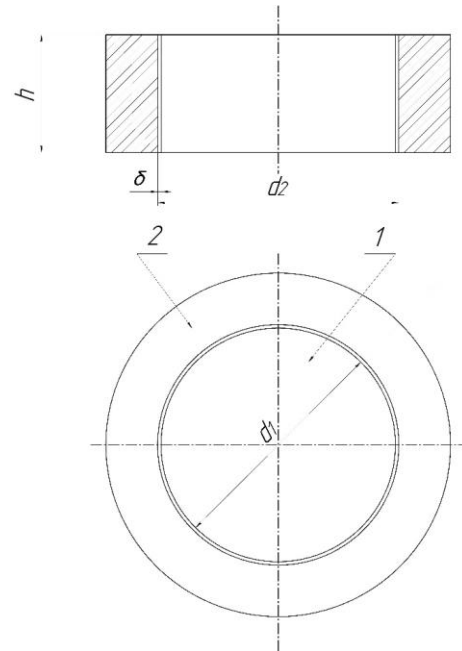


Рис. 2. Спрощена схема взаємодії пари тертя «п'ятник – підп'ятник»:
1 – вал; 2 – втулка

Fig. 2. Simplified scheme of interaction of a friction pair «center plate – center pad»:
1 – shaft; 2 – sleeve

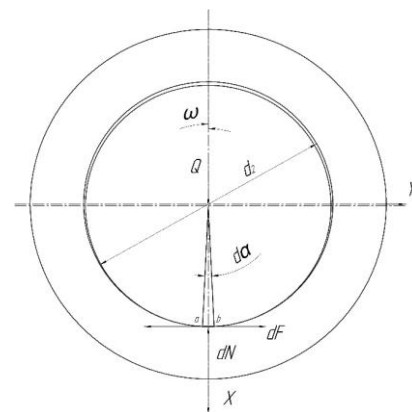


Рис. 3. Розрахункова схема взаємодії пари тертя «п'ятник – підп'ятник»

Fig. 3. Scheme of the interaction of the friction pair «center plate – center pad»

Результати

Постійний знос на елементарній площадці ab (рис. 3) у зворотному напрямку, дії сили тертя dF , позначимо через δ_F , а змінний знос, що діє в напрямку сили Q , позначимо як δ_N .

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Для зазначених величин зносу, що діють на елементарній площадці запишемо співвідношення в наступному вигляді:

$$\delta_F = \delta_N \cos \alpha. \quad (6)$$

Оскільки радіальний знос δ_N повинен бути пропорційним питомому тиску та відносній знакозмінній швидкості ковзання при контакті пари тертя «п'ятник – підп'ятник», то можна записати наступний вираз:

$$\delta_N = k\rho\omega \frac{d_2}{2}, \quad (7)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, який залежить від властивостей взаємодіючих матеріалів; ω – колова знакозмінна швидкість обертання підп'ятника навколо п'ятника в експлуатації при русі вагона.

Тоді величина постійного зносу поверхні елементарної площадки δ_F буде мати наступне співвідношення:

$$\delta_F = k\rho\omega \frac{d_2}{2} \cos \alpha. \quad (8)$$

Оскільки коефіцієнт пропорційності k залежить від властивостей взаємодіючих матеріалів п'ятника та підп'ятника, а також положення

$$\delta_F = f \frac{E_1(1-\mu_2^2)HB_1}{E_2^2(1-\mu_1^2)HB_2} \frac{\omega d_2}{hd_1} \frac{Q}{\alpha} \frac{L}{v} \times \cos \alpha \cos \varphi. \quad (11)$$

Для реального контакту при взаємодії п'ятника та підп'ятника, не знижуючи достовірність розрахунків, можна прийняти значення α , що не перевищує декількох градусів, тоді як $\cos \alpha \cong 1$.

У результаті вираз для визначення зносу підп'ятника прийме наступний вигляд:

$$\delta_F = f \frac{E_1(1-\mu_2^2)HB_1}{E_2^2(1-\mu_1^2)HB_2} \frac{\omega d_2}{hd_1} \frac{Q}{\alpha} \frac{L}{v} \cos \varphi. \quad (12)$$

Якщо при взаємодії циліндричних поверхонь п'ятника та підп'ятника враховувати всі сумарні сили, що діють у горизонтальній площині (у поперечному і поздовжньому напрямку), як наведено на рис. 4, тобто при повороті візка при подоланні кривої, то отримаємо сумарну силу контактної взаємодії ΣP :

площі контактної взаємодії, то в цьому випадку покладемо наступне співвідношення:

$$k = f \frac{K_2 HB_1}{K_1 HB_2} \frac{L}{v} \cos \varphi, \quad (9)$$

де K_1, K_2 – пружні постійні для матеріалу п'ятника та підп'ятника відповідно, які визначаються за виразами:

$$K_1 = \frac{1-\mu_1^2}{E_1}, \quad K_2 = \frac{1-\mu_2^2}{E_2}, \quad (10)$$

μ_1, μ_2 – коефіцієнти Пуассона для матеріалу п'ятника та підп'ятника відповідно; E_1, E_2 – модулі пружності матеріалу п'ятника та підп'ятника відповідно; HB_1, HB_2 – твердість (або мікротвердість) матеріалу п'ятника та підп'ятника відповідно; L – довжина колії під час руху вагона у складі поїзда, м; v – швидкість руху вагона у складі поїзда, м/с; φ – кут між прикладеним зусиллям та контактом взаємодії сполучених елементів, $0 \leq \varphi < \pi/2$.

У виразі (8) урахуємо останні викладки з урахуванням інтегрування виразу (5) Тоді для величини постійного зносу підп'ятника δ_F буде мати наступне співвідношення:

має), як наведено на рис. 4, тобто при повороті візка при подоланні кривої, то отримаємо сумарну силу контактної взаємодії ΣP :

$$\Sigma P = \Sigma Q \cos \varphi + \Sigma N \sin \varphi, \quad (13)$$

а точка дотику переміститься на кут φ .

Тоді вираз (12) для величини зносу циліндричної поверхні підп'ятника буде мати більш точне значення (для руху на кривих), оскільки буде враховувати всі сили, що діють в горизонтальній площині, у тому числі бокові, рамні та інерційні:

$$\delta_{FN} = f \frac{E_1(1-\mu_2^2)^2 HB_1}{E_2^2(1-\mu_1^2)^2 HB_2} \frac{\omega d_2}{hd_1} \frac{L}{\alpha v} \times (\Sigma Q \cos \varphi + \Sigma N \sin \varphi). \quad (14)$$

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

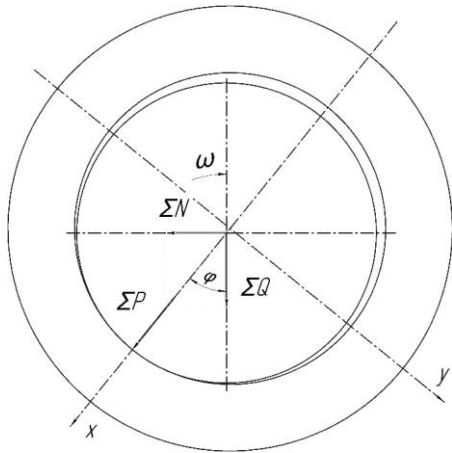


Рис. 4. Взаємодія циліндричних поверхонь п'ятника та підп'ятника з врахуванням всіх сумарних сил, що діють в горизонтальній площині (у поперечному і поздовжньому напрямках)

Fig. 4. Interaction of the cylindrical surfaces of the center plate and the center pad considering all the total forces acting in the horizontal plane (in the transverse and longitudinal directions)

На основі отриманого виразу (14) побудуємо залежності середньої величини зносу підп'ятника для піввагона 12-7023, який рухається у складі поїзда зі швидкістю 80 км/год (рис. 5, *a*) і 100 км/год (рис. 5, *б*) для випадків різних значень коефіцієнта використання пробігу.

З рис. 5 простежується лінійна залежність середньої величини зносу підп'ятника від пробігу вагона, на прикладі піввагона 12-7023. Крім того, з підвищенням швидкості руху поїзда до 100 км/год, середня величина зносу підп'ятника піввагона 12-7023 нижче на 25 % ніж при швидкості 80 км/год.

Отримані теоретичні дані середньої величини зносу підп'ятника піввагона 12-7023 не суперечать даним, що отримані під час експлуатаційних досліджень та наведених у роботах [12–15]. Різниця теоретичних та експериментальних значень знаходиться в межах допустимої похибки і не перевищувала 8,7 %.

Наукова новизна та практична значимість

У роботі за критерієм зносу розглянуто взаємодію циліндричних поверхонь пари тертя «п'ятник – підп'ятник» вантажного вагона

і вперше отримано залежність величини зносу підп'ятника від пробігу вагона, що враховує силове навантаження, фізико-механічні та триботехнічні властивості сполучених матеріалів. Застосовуючи нові матеріали з різними властивостями для ремонту, на основі отриманої залежності проведено моделювання стану зносу циліндричних поверхонь пари тертя «п'ятник – підп'ятник», тобто запропонований засіб керування величиною міжремонтного пробігу вантажного вагона.

Результати роботи дозволяють встановити величину зносу підп'ятника при відповідному експлуатаційному пробігу вантажного вагона.

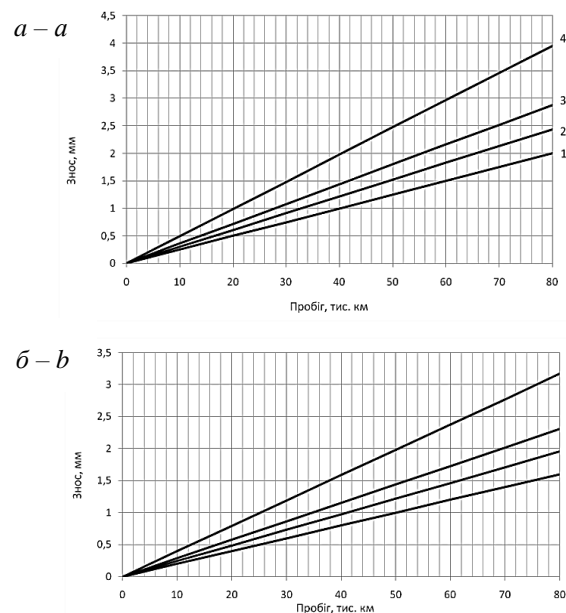


Рис. 5. Залежність середньої величини зносу підп'ятника піввагона 12-7023 який рухається у складі поїзда:

a – зі швидкістю 80 км/год, *б* – 100 км/год для значень коефіцієнта використання пробігу:
1 – 0,5; *2* – 0,6; *3* – 0,7; *4* – 1,0

Fig. 5. Dependence of the average wear value of the gondola center pad 12-7023, which moves as a part of a train:

a – with the speed of 80 km/h, *b* – 100 km/h, for values of the coefficient of use of the run:
1 – 0,5; *2* – 0,6; *3* – 0,7; *4* – 1,0

Висновки

У роботі розглянуто взаємодію циліндричних поверхонь пари тертя «п'ятник – підп'ятник» вантажного вагона у вигляді моделі «вал-втулка». У результаті запропоновані

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

залежності для постійного та змінного зносу даної пари тертя для випадків, коли діють сили в поперечному і поздовжньому напрямках. Отримана залежність величини зносу підп'ятника від пробігу вантажного вагона враховує силове навантаження, фізико-механічні та триботехнічні властивості сполучених матеріалів, на основі якої, застосовуючи нові матеріали для ремонту з різними властивостями, можна моделювати стан зношування циліндричних поверхонь пари тертя «п'ятник – підп'ятник», що дозволяє в подальшому керувати величиною міжремонтного пробігу вантажного вагона.

Також у роботі, на прикладі піввагона 12-7023, на основі отриманого виразу були побудовані залежності середньої величини зносу підп'ятника для випадків різних значень коефіцієнта використання пробігу і швидкості руху поїзда. При цьому середня величина зносу його підп'ятника досягає 2 мм для пробігу в 80 тис. км, швидкості руху 100 км/год і коефіцієнті використання пробігу 0,6. Крім того, показано, що з підвищенням швидкості руху поїзда до 100 км/год, середня величина зносу підп'ятника піввагона 12-7023 нижче на 25 % ніж при швидкості 80 км/год.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балтер, М. А. Упрочнение деталей машин / М. А. Балтер. – Москва : Машиностроение, 1978. – 182 с.
2. Износ гребней колес грузовых вагонов и рельсов: проблема и путь ее решения / И. Э. Мартынов, В. Г. Маслиев, Д. С. Мокроусов, В. П. Щербаков, В. И. Нестеренко // Вагонный парк. – 2013. – № 5 (74). – С. 4–7.
3. Костецкий, Б. И. Структурно-энергетические основы управления трением и износом в машинах / Б. И. Костецкий. – Киев : Знание, 1990. – 31 с.
4. Мурадян, Л. А. Опытные маршруты ДИИТ: «Опытная эксплуатация – научные обоснования – массовое внедрение» / Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, А. А. Мищенко // Вагонный парк. – 2016. – № 5–6 (110–111). – С. 57–59.
5. Мурадян, Л. А. Підвищення міжремонтного ресурсу візків вантажних вагонів. Модель геометрії зносу підп'ятника / Л. А. Мурадян, Д. О. Подосьонов // Наука та прогрес транспорту. – 2017. – № 1 (67). – С. 79–87. doi: 10.15802/stp2017/92533.
6. Мурадян, Л. А. Повышение надежности грузовых вагонов с применением новых технологий изготовления и восстановления рабочих поверхностей / Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, Д. О. Подосонов // Электромагнитна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2016. – № 11. – С. 49–54.
7. Совершенствование конструкции тележек грузовых вагонов с целью снижения износа гребней колес и рельсов / И. Э. Мартынов, В. Г. Маслиев, С. Д. Мокроусов [и др.] // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2013. – Вип. 139. – С. 25–34.
8. Прочность и безотказность подвижного состава железных дорог / под ред. А. Н. Савоськина. – Москва : Машиностроение, 1990. – 288 с.
9. Устич, П. А. Надежность вагона : учеб. для вузов / П. А. Устич, В. А. Карпычев, М. Н. Овечников. – Москва : Маршрут, 2003. – 382 с.
10. Damage calculation and fatigue life prediction for freight car body / F. W. Zhao, J. L. Xie, Y. Q. Yuan, X. L. Shi // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 652–654. – P. 1357–1361. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.652-654.1357.
11. Experimental Investigations on Operational Reliability of Diesel Locomotives Engines / L. P. Lingaitis, S. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability. – 2012. – № 1. – P. 5–10.
12. Myamlin, S. V. Investigation of dynamic characteristics of gondola cars on perspective bogies / S. V. Myamlin, V. M. Bubnov, Ye. O. Pysmennyi // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 5 (53). – С. 126–137. doi: 10.15802/stp2014/30789.
13. Myamlin, S. V. The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing / S. V. Myamlin, D. M. Baranovskiy // Проблеми економіки транспорту : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 7. – С. 61–66.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

14. Prediction methodology of durability of locomotives diesel engines / L. P. Lingaitis, S. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // *Eksplotacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. – 2012. – Vol. 14, no. 2. – P. 154–159.
15. Zhao, F. Influence of small stress cycles on the fatigue damage of C70E car body / F. Zhao, J. Xie // *J. of Mechanical Engineering*. – 2014. – Vol. 50. – Iss. 10. – P. 121–126. doi: 10.3901/jme.2014. 10.121.

Л. А. МУРАДЯН^{1*}, Д. А. ПОДОСЁНОВ^{2*}, В. Ю. ШАПОШНИК^{3*}

^{1*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, эл. почта leontymuradian@gmail.com, ORCID 0000-0003-1781-4580

^{2*}Региональный филиал «Приднепровская железная дорога», пр. Дмитрия Яворницкого, 108, Днипро, Украина, 49038, тел. +38 (056) 373 15 19, эл. почта d.a.podosenov@gmail.com, ORCID 0000-0002-7058-5230

^{3*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, эл. почта vladislav.sh91@gmail.com, ORCID 0000-0003-4701-6491

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА ПАРЫ ТРЕНИЯ «ПЯТНИК – ПОДПЯТНИК» ОТ ПРОБЕГА ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Цель. В исследовании необходимо рассмотреть взаимодействие цилиндрических поверхностей пары трения «пятник – подпятник» грузового вагона. Предполагается теоретически исследовать процесс износа и получить зависимость величины износа подпятника от пробега вагона с учетом силовой нагрузки, физико-механических и триботехнических свойств взаимодействующих материалов для последующего моделирования и управления величиной межремонтного пробега по критерию износа соответствующих ресурсопределяющих элементов грузовых вагонов. **Методика.** Для теоретических исследований зависимости величины износа пары трения «пятник – подпятник» от пробега грузового вагона была использована теория трения и износа твердых тел. **Результаты.** В работе рассмотрено взаимодействие цилиндрических поверхностей пары трения «пятник – подпятник» грузового вагона в виде модели «вал-втулка». В результате предложены зависимости постоянного и переменного износов данной пары трения для случаев, когда действуют силы в поперечном и продольном направлениях. Полученная зависимость величины износа подпятника от пробега грузового вагона учитывает силовую нагрузку, физико-механические и триботехнические свойства сопряженных материалов. На ее основе, применяя для ремонта новые материалы с различными свойствами, можно моделировать состояние износа цилиндрических поверхностей пары трения «пятник – подпятник», что позволяет в дальнейшем управлять величиной межремонтного пробега грузового вагона. Также в работе на примере полувагона 12-7023, на основе полученного выражения были построены зависимости средней величины износа подпятника для случаев с различными значениями коэффициента использования пробега и скорости движения поезда. При этом показано, что с повышением скорости движения поезда до 100 км/ч, средняя величина износа подпятника полувагона 12-7023 ниже на 25 %, чем при скорости 80 км/ч. **Научная новизна.** В работе по критерию износа рассмотрено взаимодействие цилиндрических поверхностей пары трения «пятник – подпятник» грузового вагона и впервые получена зависимость величины износа подпятника от пробега, учитывающая силовую нагрузку, физико-механические и триботехнические свойства сопряженных материалов. Применяя для ремонта новые материалы с различными свойствами, на основе полученной зависимости можно проводить моделирование состояния износа цилиндрических поверхностей пары трения «пятник – подпятник», то есть управлять величиной межремонтного пробега грузового вагона. **Практическая значимость.** Результаты работы позволяют установить величину износа подпятника для соответствующего эксплуатационного пробега грузового вагона.

Ключевые слова: грузовые вагоны; величина износа; подпятник; межремонтный пробег; силовая нагрузка

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

L. A. MURADIAN^{1*}, D. O. PODOSENOV^{2*}, V. Y. SHAPOSHNYK^{3*}^{1*}Dep. «Cars and cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian, Lazarian St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 19, e-mail leontymuradian@gmail.com, ORCID 0000-0003-1781-4580^{2*}Regional Branch of «Prydniprovska Railway», Dmytro Yavornytskyi Av., 108, Dnipro, Ukraine, 49038, tel. +38 (056) 373 15 19, e-mail d.a.podosenov@gmail.com, ORCID 0000-0002-7058-5230^{3*}Dep. «Cars and cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian, Lazarian St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 19, e-mail vladislav.sh91@gmail.com, ORCID 0000-0003-4701-6491

THEORETICAL DEPENDENCE OF WEAR VALUE OF FRICTION PAIR «CENETR PLATE – CENTER PAD» ON A FREIGHT CAR MILEAGE

Purpose. The paper considers the interaction of the cylindrical surfaces of the friction pair «center plate – center pad» of the freight car and theoretically investigates the wear process. It is also necessary to obtain the wear value dependence of center pad on the mileage, taking into account the power load, the physical-mechanical and tribo-technical properties of the interacting materials for the subsequent modeling and control of the value of overhaul mileage by the wear criterion of the corresponding resource-determining elements of freight cars.

Методика. For theoretical studies of the wear value of friction pair «center plate – center pad» on the freight car mileage, the theory of friction and wear of solids was used. **Findings.** In this paper interaction of cylindrical surfaces of the friction pair «center plate – center pad» of a freight car in the form of a «shaft-sleeve» model is considered.

Dependences of the permanent and variable wear of a given friction pair are proposed for cases in which forces act in the transverse and longitudinal directions. Obtained dependence of the wear value of center pad on the freight car mileage takes into account the power load, physical and mechanical and tribo-technical properties of the conjugated materials. On its basis, using new materials for repair with various properties, one may simulate the wear state of cylindrical surfaces of the friction pair «center plate – center pad», which will make it possible to control the value of overhaul mileage of freight car. Also (on the example of gondola 12-7023) on the basis of obtained expression there were constructed dependences of the average wear value of center pad for the cases of different values of the mileage use coefficient and the train movement speed. It was shown that with an increase in the train speed to 100 km/h, the average wear value of the gondola 12-7023 center pad is lower by 25% than at the speed of 80 km/h.

Originality. In the work on the wear criterion, the interaction of cylindrical surfaces of the friction pair «center plate – center pad» of a freight car is considered. For the first time it was obtained the dependence of wear value of center pad on the mileage taking into account the power load, physical and mechanical and tribo-technical properties of the conjugated materials. Applying new materials for repair with different properties, based on the obtained dependence one can carry out a simulation of the wear state of cylindrical surfaces of friction pair «center plate – center pad», that is to control the value of between-repair mileage of freight car. **Practical value.** The results of the work make it possible to establish the wear value of center pad for the corresponding operating mileage of the freight car.

Keywords: freight cars; wear value; center pad; overhaul mileage; power load

REFERENCES

1. Balter, M. A. (1978). *Uprochneniye detaley mashin*. Moscow: Mashinostroyeniye. (in Russian)
2. Martynov, I. E., Masliev, V. G., Mokrousov, D. S., Shcherbakov, V. P., & Nesterenko, V. I. (2013). Iznos grebney koles gruzovykh vagonov i relsov: problema i put ee resheniya. *Car Fleet*, 5(74), 4-7. (in Russian)
3. Kostetskiy, B. I. (1990). *Strukturno-energeticheskiye osnovy upravleniya treniyem i iznosom v mashinakh*. Kyiv: Znaniye. (in Russian)
4. Muradyan, L. A., Shaposhnik, V. Yu., & Mishchenko, A. A. (2016). Opytnyye marshruty DIIT: «Opytnaya ekspluatatsiya – nauchnyye obosnovaniya – massovoye vnedreniye». *Car Fleet*, 5–6(110-111), 57-59. (in Russian)
5. Muradian, L. A., & Podosenov, D. O. (2017). Improving TBO of freight car bogies. Geometry model of center pad wear. *Science and Transport Progress*, 1(67), 79-87. doi: 10.15802/stp2017/92533. (in Ukrainian)
6. Muradyan, L. A., Shaposhnik, V. Y., & Podosenov, D. O. (2016). Povysheniye nadezhnosti gruzovykh vagonov s primeneniyyem novykh tekhnologiy izgotovleniya i vosstanovleniya rabochikh poverkhnostey. *Electromagnetic Compatibility and Safety on Railway Transport*, 11, 49-54. (in Russian)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

7. Martinov, I. E., Masliev, V. G., Mokrousov, S. D., Nesterenko, V. I., & Shcherbakov, V. P. (2013). Improved design cargo trucks-cars out to prevent wear paddle wheels and rails. *Collected scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport*, 139, 25-34. (in Russian)
8. Savoskina, A. N. (1990). *Prochnost i bezotkaznost podvizhnogo sostava zheleznykh dorog*. Moscow: Mashinostroeniye. (in Russian)
9. Ustich, P. A., Karpychev, V. A., & Ovechnikov M. N. (2003). *Nadezhnost vagona: uchebnik dlya vuzov*. Moscow: Marshrut. (in Russian)
10. Zhao, F., Xie, J., Yuan, Y., & Shi, X. (2013). Damage Calculation and Fatigue Life Prediction for Freight Car Body. *Advanced Materials Research*, 652-654, 1357-1361. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.652-654.1357. (in English)
11. Lingaitis, L.P., Mjamlin, S., Baranovsky, D., & Jastremskas, V. (2012). Experimental Investigations on Operational Reliability of Diesel Locomotives Engines. *Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*, 1, 5-10. (in English)
12. Myamlin, S. V., Bubnov, V. M., & Pysmennyi, Ye. O. (2014). Investigation of dynamic characteristics of gondola cars on perspective bogies. *Science and Transport Progress*, 5(53), 126-137. doi: 10.15802/stp2014/30789. (in English)
13. Myamlin, S. V., & Baranovskiy, D. M. (2014). The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing. *Zbirnik naukovich prac' Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zaliznichnogo transport imeni akademika V. Lazarana "Problemi ekonomiki transportu"*, 7, 61-66. (in English)
14. Lingaitis, L. P., Mjamlin, S., Baranovsky, D., & Jastremskas, V. (2012). Prediction methodology of durability of locomotives diesel engines. *Eksploatacja i Niezawodnosc–Maintenance and Reliability*, 14(2), 154-159. (in English)
15. Zhao, F., & Xie, J. (2014). Influence of small stress cycles on the fatigue damage of C70E car body. *Journal of Mechanical Engineering*, 50(10), 121-126. doi: 10.3901/jme.2014. 10.121. (in English)

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. В. В. Мямліним (Україна), д.т.н., проф. І. Е. Мартиновим (Україна)

Надійшла до редколегії: 06.06.2017

Прийнята до друку: 12.09.2017

UDC 629.46.028L. V. URSULYAK^{1*}, A. O. SHVETS^{2*}

^{1*}Dep. «Theoretical and Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (095) 008 70 53, e-mail lydm.urs@gmail.com, ORCID 0000-0001-5957-6926

^{2*}Dep. «Theoretical and Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 214 14 19, e-mail angela_Shvets@ua.fm, ORCID 0000-0002-8469-3902

IMPROVEMENT OF MATHEMATICAL MODELS FOR ESTIMATION OF TRAIN DYNAMICS

Purpose. Using scientific publications the paper analyzes the mathematical models developed in Ukraine, CIS countries and abroad for theoretical studies of train dynamics and also shows the urgency of their further improvement. **Methodology.** Information base of the research was official full-text and abstract databases, scientific works of domestic and foreign scientists, professional periodicals, materials of scientific and practical conferences, methodological materials of ministries and departments. Analysis of publications on existing mathematical models used to solve a wide range of problems associated with the train dynamics study shows the expediency of their application. **Findings.** The results of these studies were used in: 1) design of new types of draft gears and air distributors; 2) development of methods for controlling the movement of conventional and connected trains; 3) creation of appropriate process flow diagrams; 4) development of energy-saving methods of train driving; 5) revision of the Construction Codes and Regulations (SNiP II-39.76); 6) when selecting the parameters of the autonomous automatic control system, created in DNURT, for an auxiliary locomotive that is part of a connected train; 7) when creating computer simulators for the training of locomotive drivers; 8) assessment of the vehicle dynamic indices characterizing traffic safety. Scientists around the world conduct numerical experiments related to estimation of train dynamics using mathematical models that need to be constantly improved. **Originality.** The authors presented the main theoretical postulates that allowed them to develop the existing mathematical models for solving problems related to the train dynamics. The analysis of scientific articles published in Ukraine, CIS countries and abroad allows us to determine the most relevant areas of application of mathematical models. **Practical value.** The practical value of the results obtained lies in the scientific validity and applied orientation of theoretical studies using mathematical models, the improvement of which will expand the range of problems to be solved, and increase the level of reliability of the results obtained.

Keywords: long train; train dynamics; mathematical models of longitudinal train oscillations; inter-car coupling modelling; science articles; longitudinal forces in the train; locomotive driving simulators

Introduction

With increasing speeds of movement, masses and lengths of trains, especially freight ones, increasing capacity of locomotives, it is required to control the longitudinal forces that arise during stationary and transitional train movements that affect the traffic safety. It should be borne in mind that from the standpoint of traffic safety, longitudinal forces of quasistatic character or forces of shock nature containing such quasistatic components can be dangerous. Such forces can, under certain conditions, cause outstriking (or pulling out) of wagons from the train.

Earlier, the experimental method of studying transient modes of train movement was the main method used to obtain practically important results.

The current level of theoretical methods for studying the transient modes of train movement, based on the use of modern PCs and IT, allows solving many technical problems in the field of train dynamics. In addition, computer modelling (numerical experiment) has significant advantages over field experiment.

First, there is no need to conduct an experiment on real physical objects, so the costs for various computer experiments are much less than for actual experiments. The scale of the experiments can be chosen at own discretion, and there is the possibility of conducting multiple experiments with gradual changes in the task input data.

Secondly, in the process of constructing mathematical models for carrying out a computational

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

experiment and during its investigation, it is possible to analyse and understand the characteristics of the object under study.

Purpose

Any scientific research should be based on knowledge of the scientific heritage of predecessors, and therefore one of the key stages of any scientific research is the analysis of the results of scientific research of predecessors. The need for such an analysis is due to the impossibility of allowing repetitions of the scientific result and the need for further development of science with the purpose of search for truth [30, 33].

The purpose of the publication is to analyse the results of scientific research conducted in Ukraine, CIS countries and abroad on the development of mathematical models for solving problems of train dynamics, and also to show the urgency of their further improvement.

Methodology. Analysis of publication

To solve these problems, Nikolai Egorovich Zhukovsky in 1919 proposed two train calculation models.

In this case, the train was viewed as an elastic rod with a load at the end. The rod mass and length was equal to the train mass and length, while the load mass – to the mass of the locomotive [9]. Then the motion of the train was described by the wave equation and the definition of longitudinal forces was reduced to the solution of the boundary value problem. Then the train was supposed to be considered as a system of solids connected by elastic links subordinate to Hooke's law, and the task was reduced to solving a system of differential equations for given initial conditions. The schemes described above represented conservative systems and allowed us to determine only the upper boundaries of longitudinal forces under unsteady modes.

V. A. Lazaryan specified the calculation models proposed by N.E. Zhukovsky. If the coupling gaps do not affect the course of transients (when the train pre-stretched from head starts, when the head locomotive of the head pre-compressed train brakes, when the stretched (compressed) train enters the summit or sag), then the train can be considered as an elastic-viscous rod with a load (locomotive) at the end [1, 4, 12, 15-17, 19, 36].



Fig. 1. Calculation model of train in the form of rod.

In this case, the longitudinal oscillations of the train are described by second-order partial differential equations.

Using such a model, the solution of the problem can be found analytically.

Vsevolod Arutyunovich Lazaryan proposed in his doctoral thesis to take into account the energy dissipation during oscillations and to consider the train as a one-dimensional system of solids connected by elastic-viscous bonds.

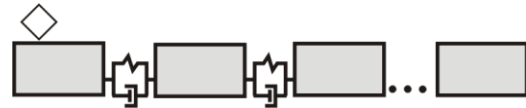


Fig. 2. Calculation model of train in the form of chain of bodies connected by elastic-viscous bonds

These calculation models were used in the works of V.A. Lazaryan, E.P. Blokhin, I.G. Barbas, T.A. Gorodetskyaya, A.I. Stukalov, A.A. Ulanov and F.V. Florinskii. Numerous special train experiments, conducted by V. A. Lazaryan in real conditions, confirmed the validity of application, in a number of cases, of the mentioned calculation models and allowed to find many characteristics of freight and passenger trains necessary for calculations (run speed, perturbations during start-up and braking, train longitudinal stiffness, coupling stiffness during loading and unloading, average statistical gaps in the inter-car couplings).

Naturally, in this case, transitional modes of motion were considered, not influenced by the gaps in the train coupling (starting of the pre-stretched and braking of the head pre-compressed trains, movement of the stretched train along the summit and sag). In all these cases, there is a practical coincidence of not only the curves of distribution of the maximum longitudinal forces along the train, obtained by calculation and based on the experiment results, but also the oscillograms of the longitudinal forces. The linear formulation of the tasks made it possible to use analytical methods and the electric model created on the passive elements (R, L, C) in the rolling stock dynamics and strength laboratory of the DNURT.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

The first studies of longitudinal forces, when the gaps influence the transient process, were carried out experimentally.

When the gaps in the inter-car couplings influence the transient process, V.A. Lazaryan proposed as a calculation model a system of solids connected by elements with elastic imperfections that take into account the gaps [3, 18, 20–23, 28].



Fig. 3. Calculation model of train as a nonlinear system.

Fig. 3 differs from Fig. 2 by the presence of one more element, conditionally denoting the coupling gap, and the non-linearity of the power characteristics of the centre-coupler draft gear.

The presence of coupling gaps, in general, the nonlinearity of the power characteristics of the draft gears makes the train considered as a chain of solids connected by links with nonlinear characteristics. In this case, the mathematical model of longitudinal train oscillations is a system of essentially nonlinear differential equations, the order of which depends on the number of vehicles in a train. It is impossible to obtain a solution of this system analytically. Therefore, at the initial stage the DNURT research of the train movement transitional modes in the present formulation was carried out with the help of a special electronic train model made on the basis of three MPT-9 type analogue computers. It is known that one of the advantages of ACS (analogue computing system) is obtaining of the solutions on a real-time basis, which is very important in the case of automatic control systems.

With the advent of ECM (electronic computing machine), such studies have been carried out by numerical experiments.

In this case the problem was reduced to solving a system of ordinary differential equations using numerical integration methods. The works [2, 3, 11] are devoted to the method of mathematical modelling of train movement transitional modes using ECM.

The advent of digital computers and the use of modern computing methods have made it possible to significantly expand the range of important tasks for the industry. In this case, the oscillograms of longitudinal forces obtained as a result of solving

the system of nonlinear differential equations can only be compared qualitatively with those obtained experimentally, but the distribution along the composition of the maximum values of the longitudinal forces found by calculation and experimentally agree fairly well. Naturally, such an agreement can only be obtained when calculation uses the significant driving characteristics of the train and the track layout, as well as data on the distribution of the gaps in the coupling before the beginning of the transient processes.

To obtain such characteristics, special experiments were carried out, with the trains homogeneous in wagon mass and draft gear type, within the station tracks in order to determine the numerical values of the parameters required for solving differential equations of train movement.

One of these parameters is the gap limit in inter-car couplings.

For the freight trains formed from the newly-manufactured freight wagons this gap is 45 mm. For the trains formed from freight wagons in service this gap is equal to 65 mm. For the passenger trains, the coupling gap is 45 mm. These values of the gaps were used in solving differential equations of train movement [3, 29, 48].

Rolling stock on the 1524 and 1520 mm gauge railways is equipped with elastic-corrugating draft gears, which are not stable in operation, therefore, often the inter-car have different characteristics. However, the experimental studies of train movement transitional modes revealed the general, integral properties for the whole system.

Integral values are necessary for analytical studies and modelling of transitional modes of train movement. They can be determined by the nature of the propagation of disturbances in the train, i.e. by the speed of propagation of the perturbations along the train, by the dispersion of the perturbation waves of various levels, by the damping of the oscillations, etc. [2, 3, 48].

The use of digital computers allowed studying the transitional modes of the movement of freight and passenger trains during their starting, braking and moving along the broken profile track. Here-with the study included the homogeneous and heterogeneous trains, as well as trains containing wagons with moving loads, equipped with draft gears of automatic couplers and air distributors of various types. The digital computers allowed solv-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ing the greatest number of tasks related to the longitudinal dynamics of the train and solved at different times [7, 29, 34, 45, 48, 56–59].

The results of these studies were used when designing new types of draft gears and air distributors [3, 5, 6, 10, 27, 31, 32], when developing the methods for controlling the movement of conventional and connected trains [2, 38, 40], when creating the appropriate process flow diagrams and developing the energy-saving methods of train driving [58, 62], when revising the Construction Codes and Regulations (SNiP II-39.76) [3, 29, 48], when selecting the parameters of the autonomous automatic control system, created in DNURT, for an auxiliary locomotive that is part of a connected train [29], when creating computer simulators for the training of locomotive drivers [24, 26, 37, 50–52, 54, 64].

In these days, freight trains weighing several tens of thousands of tons with locomotives distributed along the train have long been in use in a number of countries in America, Asia, Africa, and Canada.

In order to increase the carrying capacity of railways, to reduce operating costs, the weight norms of freight trains in a number of countries are being revised. For example, the weight norm of 4,000 tons was replaced in Russia by 6,000 tons on the most common 1524 and 1520 mm gauge. The double freight trains of 12,000 tons with locomotives distributed along the train were put into regular operation on the most heavily loaded tracks of Russian railways [13, 25, 39, 44, 46].

Herewith, in order to ensure the permissible level of longitudinal forces in the most dangerous mode of driving – braking – it is necessary to drive the locomotives in a coordinated manner.

In trains of increased mass and especially length during braking, there are longitudinal loads, which can be dangerous from the point of traffic safety.

Numerous special experiments, conducted in different years at the Pridneprovskaya Railway, DNURT, the Central Research Institute of the Ministry of Railways, and in a number of cases with the participation of MSURE, with trains weighing 6, 8 and 10 thousand tons have shown that in case of emergency and service braking even in homogeneous trains weighing up to 10 thousand tons the cars can experience, with a low probability (of or-

der of thousandths), the forces, which exceed the permissible strength.

During regulation braking, the maximum values of compressive forces observed in the experiments with a statistical probability of 0.009 exceed by 20–60% the values of the longitudinal loads (± 1 MN) allowed for the III calculation mode. For the tensile forces that arise during «recoil», the excess reached 20%, but with greater probability by several times.

A lot of works [3, 11, 28, 35, 38, 43, 44, 47–49, 53, 60, 61, 63] are devoted to the study of longitudinal dynamics in the braking of long trains using mathematical models.

When operating the long trains, special attention is paid to the assessment of the dynamic performance of vehicles, among which the most important is the indicator characterizing the vehicle movement safety – the derailment stability factor.

For this purpose, there are used mathematical models of spatial oscillations of the car (or group of cars), moving in the train [8, 14, 26, 41–42, 55]. In this case, the vehicle model is divided into separate objects and the connections between them. The objects, for example, can be the all inertial features or some of them, which can be combined into one object; while the others can act as separate objects.

Findings

Information base of the research was official full-text and abstract databases, scientific works of domestic and foreign scientists, professional periodicals, materials of scientific and practical conferences, methodological materials of ministries and departments.

The analysis of publications on the development of mathematical models for solving the train dynamics problems shows the multiplicity of the investigated aspects. Scientists around the world conduct numerical experiments related to the evaluation of the train dynamics using mathematical models, which must be constantly improved.

The research results have found their scientific use in a number of publications of authors in special and scientific publications, speeches at scientific conferences.

Originality and practical value

The originality of the study is the presentation of the main theoretical provisions and methodological recommendations for the improvement of mathematical models for solving the train dynamics problems. The carried out analysis of scientific publications makes it possible to determine the most relevant studies in the field of train safety that are impossible without mathematical modelling.

The practical value of the results obtained lies in the scientific validity and applied orientation of theoretical studies using mathematical models, the improvement of which will expand the range of problems to be solved, and increase the level of reliability of the results obtained.

Conclusions

The analysis of scientific publications on mathematical modelling of train dynamics allowed drawing the following conclusions:

1. Despite the variety and the large number of issues considered and solved in the field of transitional modes for the movement of tank trains, the problem of the train dynamics, in particular that of train longitudinal oscillations, remains relevant, especially at the most dangerous driving mode – braking.

2. Recently, especially in Europe, much attention has been paid to modelling the movement of trains of increased mass and length.

3. Mathematical models should be used to solve problems concerning the influence of perspective rolling stock on the train dynamics.

4. The existing mathematical train models require improvement, taking into account the tasks that arise during the operation of the rolling stock.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Барбас, И. Г. Аналитическое определение усилий, возникающих в упряжных приборах при движении через перелом профиля пути / И. Г. Барбас // Сб. науч. тр. ДИИТа. – Днепропетровск, 1962. – Вып. 42. – С. 4–12.
2. Блохин, Е. П. Выбор режимов ведения поездов как стохастическая задача векторной оптимизации / Е. П. Блохин, В. В. Скалзуб // Транспорт : зб. наук. пр. / Дніпропетр. держ. техн. ун-т залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2002. – Вип. 7. – С. 28–31.
3. Блохин, Е. П. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания) / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин. – Москва : Транспорт, 1982. – 222 с.
4. Блохин, Е. П. О влиянии неоднородности поезда на динамические усилия, возникающие в упряжных приборах при трогании с места / Е. П. Блохин // Тр. ДИИТа. – Москва, 1958. – Вып. 26. – С. 4–12.
5. Болдырев, А. П. Характеристики перспективных поглощающих аппаратов в поездных условиях эксплуатации / А. П. Болдырев, А. М. Гуров, Э. А. Фатьков // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 15. – С. 146–153.
6. Болдырев, А. П. Эффективность применения высокоэнергоемких поглощающих аппаратов на грузовых вагонах / А. П. Болдырев, А. М. Гуров // Трансп. Рос. Федерации. – 2014. – № 3 (52). – С. 43–44.
7. Верескун, В. Д. Многомассовая модель подвижной единицы для исследования продольной динамики грузового поезда / В. Д. Верескун, Д. Е. Притыкин // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщения. – 2014. – № 2 (54). – С. 16–27.
8. Воронова, Ю. В. Динамика грузовых вагонов на кривых малого радиуса / Ю. В. Воронова, Н. П. Рычков // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы Шестой междунар. науч.-практ. конф. (30 сент.–03 окт. 2015 г.). – Иркутск, 2015. – Т. 2. – С. 445–449.
9. Жуковский, Н. Е. Работа (усилие) русского сквозного и американского несквозного тягового прибора при трогании поезда с места и в начале его движения / Н. Е. Жуковский // Бюллетень Экспериментального института путей сообщения. – 1919. – № 13. – С. 31–57.
10. Исследование продольной нагруженности грузовых вагонов, оснащенных фрикционными поглощающими аппаратами нового исполнения, при переходных режимах движения поезда / А. С. Васильев, А. П. Болдырев, Б. Г. Кеглин, А. М. Гуров // Вестн. Брянск. гос. техн. ун-та. – 2014. – № 1 (41). – С. 12–17.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

11. Карпычев, В. А. Уменьшение продольных силовых возмущений при распределенном управлении торможением поезда (РУТП) / В. А. Карпычев, С. Г. Чуев // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2017. – № 1 (37). – С. 66–72.
12. К вопросу о математическом описании процессов, происходящих при переходных режимах движения поездов с зазорами в упряжи / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, Л. В. Белик // Тр. ДИИТа. – Днепропетровск, 1971. – Вып. 103 : Вопросы динамики подвижного состава и применение математических машин. – С. 18–28.
13. Компаниец, Д. И. Тяжеловесное движение как фактор оптимизации перевозочного процесса / Д. И. Компаниец // Научные исследования: теория, методика и практика : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 21 мая 2017 г.). – Чебоксары, 2017. – С. 303–305.
14. Коссов, В. С. Исследования продольной динамики и воздействия на путь соединенных поездов массой 12 600 т / В. С. Коссов, А. А. Лунин // Тяжелое машиностроение. – 2016. – № 9. – С. 21–26.
15. Лазарян, В. А. Исследование неустановившихся режимов движения поезда / В. А. Лазарян. – Москва : Трансжелдориздат, 1949. – 135 с.
16. Лазарян, В. А. Исследования переходных режимов движения поездов при сплошном торможении и при переходах через переломы продольного профиля пути / В. А. Лазарян // Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1953. – Вып. 23. – С. 5–23.
17. Лазарян, В. А. Исследования усилий, возникающих при переходных режимах движения в стержнях с различными упругими несовершенствами / В. А. Лазарян // Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1956. – Вып. 25. – С. 5–50.
18. Лазарян, В. А. К вопросу о выборе расчётной схемы при исследовании переходных режимов движения поездов / В. А. Лазарян // Техника железных дорог. – 1952. – № 6. – С. 17–19.
19. Лазарян, В. А. О динамических усилиях в упряжных приборах поезда при немономтонном изменении силы тяги / В. А. Лазарян // Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1948. – Вып. 19. – С. 63–82.
20. Лазарян, В. А. О математическом моделировании движения поезда по переломам продольного профиля пути / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин // Труды МИИТа. – Москва, 1974. – Вып. 444. – С. 83–123.
21. Лазарян, В. А. О переходных режимах движения поезда / В. А. Лазарян // Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1973. – Вып. 152. – С. 3–43.
22. Лазарян, В. А. Об усилиях в грузовых поездах при торможении локомотива прямодействующим тормозом / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин, И. Г. Барбас // Труды МИИТа. – Москва, 1974. – Вып. 444. – С. 67–73.
23. Лазарян, В. А. Электрическое моделирование движения однородных поездов через переломы продольного профиля пути / В. А. Лазарян, И. Г. Барбас, Л. А. Манашкин // Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1964. – Вып. 50. – С. 5–20.
24. Модульный тренажер машиниста / А. С. Акулов, К. И. Железнов, О. М. Заболотный [та ін.] // Локомотив-інформ. – 2017. – №7/8. – С. 42–49.
25. Обеспечение экологической безопасности железнодорожной инфраструктуры при эксплуатации тяжеловесных поездов / Р. М. Куртиков, А. А. Сидраков, Е. А. Кузнецова, Е. А. Иванникова // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути : тр. XIII Междунар. науч.-техн. конф. – Москва, 2016. – С. 191–194.
26. Определение допустимых сил при оценке устойчивости грузовых вагонов от выжимания в поездах / А. А. Швец, К. И. Железнов, А. С. Акулов, А. Н. Заболотный, Е. В. Чабанюк // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 189–192. doi: 10.15802/stp2016/61045.
27. Оценка эффективности работы фрикционных металлокерамических элементов поглощающих аппаратов при различных условиях эксплуатации / А. П. Болдырев, П. Д. Жиров, А. С. Васильев, С. В. Боровикова // Вестн. Брянск. гос. техн. ун-та. – 2013. – № 2 (38). – С. 22–31.
28. Пудовиков, О. Е. Моделирование режима регулировочного торможения длинносоставного поезда / О. Е. Пудовиков, С. А. Муров // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13, № 2 (57). – С. 28–33.
29. Расчеты и испытания тяжеловесных поездов / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, Е. Л. Стамблер, Л. Г. Маслеева, В. М. Михайличенко, Н. И. Грановская. – Москва : Транспорт, 1986. – 263 с.
30. Секерова, Ш. А. Анализ научно-исследовательских работ по продольной динамике грузового поезда / Ш. А. Секерова, Е. Г. Адильханов, Ж. С. Мусаев // Вестн. Казах. акад. трансп. и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2010. – № 6 (67). – С. 32–36.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

31. Селенская, Т. В. Качество функционирования и функциональная надежность автосцепных амортизаторов, работающих в случайно сформированном грузовом поезде / Т. В. Селенская, Е. И. Селенский // Вестн. Брянск. гос. техн. ун-та. – 2014. – № 2 (42). – С. 57–63.
32. Ступин, Д. А. Исследование влияния энергоемкости поглощающих аппаратов на продольные усилия в наливном поезде / Д. А. Ступин, В. И. Беляев // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2016. – № 3. – С. 154–160.
33. Теоретические аспекты оценки безопасности систем железнодорожного транспорта / О. В. Дружинина, В. П. Сычев, Ю. М. Черкашин, В. В. Качалкин // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. – 2014. – Т. 7, № 7. – С. 168–181.
34. Фатьков, Э. А. Программный комплекс для моделирования и расчета задач продольной динамики поезда / Э. А. Фатьков // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2009. – № 10. – С. 130–133.
35. Феоктистов, В. П. Учет ограничений по продольной динамике при регулировании пускового режима электропоездов / В. П. Феоктистов, А. В. Невинский, Д. В. Назаров // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13, № 3 (58). – С. 94–100.
36. Экспериментальные исследования продольных усилий в грузовых поездах массой до 10 тыс. тонн при переходных режимах движения / Е. П. Блохин, О. Г. Бойчевский, П. Т. Гребенюк, И. Б. Феоктистов // Труды ЦНИИ МПС. – Москва, 1970. – Вып. 425. – С. 55–85.
37. Языков, В. Н. Численное моделирование динамики поезда в режиме реального времени / В. Н. Языков // Вестн. Брянск. гос. техн. ун-та. – 2015. – № 2 (46). – С. 123.
38. Assessment of the curving performance of heavy haul trains under braking conditions / L. Yang, Y. Kang, Sh. Luo [et al.] // Journal of Modern Transportation. – 2015. – Vol. 23, No. 3. – P. 169–175. doi:10.1007/s4053.
39. Castagnetti, F. The MARATHON 1500 m train opening up new horizons in rail freight transport in Europe / Franco Castagnetti, Armand Toubol. – Brussels : Drifosett, 2014. – 220 с.
40. Dos Santos, G. F. M. Safety analysis of a railway car under the periodic excitation from the track / G. F. M. dos Santos, R. S. Barbosa // Cogent Engineering. – 2016. – Vol. 3, No. 1. – P. 1–12. doi: 10.1080/23311916.2016.1263027.
41. Experimental and numerical determination of the wheel-rail angle of attack / D. Milkovic, G. Simic, J. Tanaskovic [et al.] // Facta universitatis-series mechanical engineering. – 2015. – Vol. 13, No. 2. – P. 123–131.
42. Ivanov, V. Systematization of Integrated Motion Control of Ground Vehicles / Valentin Ivanov, Dzmitry Savitski // IEEE ACCESS. – 2015. – Vol. 3. – P. 2080–2099. doi:10.1109/ACCESS.2015.2496108.
43. Lee, D. C. A mechanical brake hardware-in-the-loop simulation of a railway vehicle that accounts for hysteresis and pneumatic cylinder dynamics / Dong-Chan Lee, Chul-Goo Kang // Advances in mechanical engineering. – 2016. – Vol. 7, No. 11. – P. 1–11. doi: 10.1177/1687814015616086.
44. Longer trains Facts & Experiences in Europe : Results of the CER working group on longer and heavier trains, May 2016. – Brussels : CER aisbl, 2016. – 81 с.
45. Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars / S. Myamlin, O. Lunys, L. Neduzha, O. Kyryl'chuk // Transport Means : Proc. of 21st Intern. Scientific Conf. – Kaunas, 2017. – P. 973–976.
46. Multi-Train Energy Saving for Maximum Usage of Regenerative Energy by Dwell Time Optimization in Urban Rail Transit Using Genetic Algorithm / F. Lin, Sh. Liu, Zh. Yang [et al.] // ENERGIES. – 2016. – Vol. 9, No. 208. – P. 1–21. doi: 10.3390/en9030208.
47. Naeimi, M. Dynamics of the monorail train subjected to the braking on a straight guideway bridge / Meysam Naeimi, Meisam Tatari, Amin Esmaeilzadeh // Archive of mechanical engineering. – 2015. – Vol. 62, No. 3. – P. 363–375. doi: 10.1515/meceng-2015-0021.
48. Nestacionarieji ir kvazistatiniai geležinkelio traukinių judėjimo režimai / Eug. Blochinas, St. Dailydka, L. Lingaitis, L. Ursuliak. – Vilnius :Technika, 2016. – 168 p. doi: 10.3846/2321-M.
49. Niu, G. Failure Prognostics of Locomotive Electro-Pneumatic Brake Based on Bond Graph Modeling / Gang Niu, Xiaofan Huang // IEEE ACCESS. – 2017. – Vol. 5. – P. 15030–15039. doi:10.1109/ACCESS.2017.2734120.
50. Object oriented simulation of longitudinal trair dynamics efficient tools to optimize sustainability and efficiency of railway systems / A. Frilli, M. Enrico, N. Daniele, P. Luca, R. Andrea // AEIT International Annual Conference (14–16 Oct. 2015). – Naples, Italy, 2015. doi: 10.1109/AEIT.2015.7415257.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

51. Qi, Zh. Simulation of longitudinal dynamics of long freight trains in positioning operations / Zhaohui Qi, Zhihao Huang, Xianchao Kong // *Journal Vehicle System Dynamics International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*. – 2012. – Vol. 50. – Iss. 9. – P. 1409–1433. doi: org/10.1080/00423114.2012.661063.
52. Regenerative braking in high speed railway applications: Analysis by different simulation tools / M. Ceraolo, G. Lutzemberger, A. Frilli, L. Pugi // *Environment and Electrical Engineering (EEEIC) : IEEE 16th International Conference*. – Florence, Italy, 2016. – P. 1–5. doi:10.1109/EEEIC.2016.7555474.
53. Shabana, A. A. Use of the non-inertial coordinates in the analysis of train longitudinal forces / A. A. Shabana, A. K. Aboubakr, L. Ding // *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*. – 2012. – No. 7 (1). – P. 1–10. doi: 10.1115/1.4004122.
54. Simulation of Longitudinal Train Dynamics: Case Studies Using the Train Energy and Dynamics Simulator (TEDS) / M. F. Stewart, S. K. (John) Punwani, D. R. Andersen, G. F. Booth, S. P. Singh, A. Prabhakaran // *Joint Rail Conference (March 23–26, 2015)*. – San Jose, California, USA, 2015. – P. V001T02A011. doi: 10.1115/JRC2015-5760 2015.
55. Spatial Kinetics Model of Supercavitating Vehicles Reflecting Conic-Like Oscillation / Ch. Huang, K. Luo, J. Dang [et al.] // *Mathematical problems in engineering*. – 2017. – Vol. 2017. – P. 1–12. doi: org/10.1155/2017/3671618.
56. Su, Sh. Evaluation of Strategies to Reducing Traction Energy Consumption of Metro Systems Using an Optimal Train Control Simulation Model / Sh. Su, T. Tang, Y. Wang // *Energies*. – 2016. – Vol. 9, No. 2. – P. 2–19. doi: 10.3390/en9020105.
57. Tavan, N. An optimal integrated longitudinal and lateral dynamic controller development for vehicle path tracking / N. Tavan, M. Tavan, R. Hosseini // *Latin American journal of solids and structures*. – 2015. – Vol. 12, No. 6. – P. 1006–1023. doi:10.1590/1679-78251365.
58. The Energy-Efficient Operation Problem of a Freight Train Considering Long-Distance Steep Downhill Sections / X. Lin, Q. Wang, P. Wang [et al.] // *ENERGIES*. – 2017. – Vol. 10, No. 6. – P. 1–26. doi: 10.3390/en10060794.
59. Ursuljak, L. On the problem of dynamic response of the long trains including joint ones with the liquid cargo / L. Ursuljak, Ya. Romanjuk // *Transbaltica 2011 : Proc. of 7th Intern. Scientific Conf. (May 5–6, 2011)*. – Vilnius, 2011. – P. 269–275.
60. Varazhun, I. Determination of Longitudinal Forces in the Cars Automatic Couplers at Train Electrodynamic Braking / I. Varazhun, A. Shimanovsky, A. Zavarotny // *Engineering*. – 2016. – Vol. 134 : *Transbaltica 2015 : Proc. of the 9th Intern. Scientific Conf. (May 7–8, 2015)*. – P. 415–421. doi:10.1016/j.proeng.2016.01.032.
61. Wang, X. Optimal control of heavy haul train based on approximate dynamic programming / X. Wang, T. Tang, H. He // *Advances in mechanical engineering*. – 2017. – Vol. 9, No. 4. – P. 1–15. doi: 10.1177/1687814017698110.
62. Wang, X. Optimal operation of high-speed train based on fuzzy model predictive control / X. Wang, T. Tang // *Advances in mechanical engineering*. – 2017. – Vol. 9, No. 3. – P. 1–14. doi: 10.1177/1687814017693192.
63. Wei, W. Influence of train tail exhaust device on longitudinal force of train / W. Wei, Y. Hu // *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. – 2012. – No. 12 (5). – P. 43–49.
64. Wu, Q. Longitudinal dynamics and energy analysis for heavy haul trains / Q. Wu, Sh. Luo, C. Cole // *J. Mod. Transport*. – 2014. – No. 22 (3). – P. 127–136. doi: 10.1007/s40534-014-0055-x.

Л. В. УРСУЛЯК^{1*}, А. О. ШВЕЦЬ^{2*}

^{1*} Каф. «Теоретична та будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (095) 008 70 53, ел. пошта lydm.urs@gmail.com, ORCID 0000-0001-5957-6926

^{2*} Каф. «Теоретична та будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 214 14 19, ел. пошта angela_Shvets@ua.fm, ORCID 0000-0002-8469-3902

ВДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ДИНАМІКИ ПОЇЗДА

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Мета. Використовуючи наукові публікації, у роботі необхідно провести аналіз математичних моделей, розроблених в Україні, країнах СНД та за кордоном, які використовуються для теоретичних досліджень динаміки поїзда, а також показати актуальність подальшого їх удосконалення. **Методика.** Інформаційною базою дослідження були офіційні повнотекстові та реферативні бази даних, наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених, професійні періодичні видання, матеріали науково-практичних конференцій, методичні матеріали міністерств та відомств. Аналіз публікацій про існуючі математичні моделі, які використовуються для вирішення широкого кола завдань, пов'язаних із дослідженням динаміки поїзда, показує доцільність їх застосування. **Результати.** Отримані результати досліджень були використані: 1) при проектуванні нових типів поглинаючих апаратів та розподільників повітря; 2) при розробці способів управління рухом звичайних і з'єднаних поїздів; 3) при створенні відповідних режимних карт; 4) при розробці енергозберігаючих способів ведення поїздів; 5) при перегляді Строительных норм и правил (СНиП II-39.76); 6) при виборі параметрів для створеної у ДПТГ автономної системи автоматичного керування допоміжним локомотивом, що знаходиться в складі об'єднаного поїзда; 7) при створенні на базі комп'ютерних технологій тренажерів для навчання машиністів; 8) при оцінюванні динамічних показників екіпажів, що характеризують безпеку руху. Вчені всього світу проводять чисельні експерименти, пов'язані з оцінкою динаміки поїзда, за допомогою математичних моделей, які необхідно постійно вдосконалювати. **Наукова новизна.** Авторами викладені основні теоретичні положення, на підставі яких розроблені існуючі математичні моделі для вирішення задач динаміки поїзда. Проведений аналіз наукових статей, опублікованих в Україні, країнах СНД та за кордоном, дозволяє визначити найбільш актуальні сфери застосування математичних моделей. **Практична значимість.** Практичне значення отриманих результатів полягає у науковій обґрунтованості та прикладній спрямованості теоретичних досліджень із використанням математичних моделей, удосконалення яких дозволить розширити коло вирішуваних завдань, підвищити рівень достовірності отриманих результатів.

Ключові слова: довгосоставні поїзда; динаміка поїзда; математичні моделі поздовжніх коливань поїзда; моделювання міжвагонних з'єднань; наукові статті; поздовжні сили в поїзді; тренажери машиністів локомотивів

Л. В. УРСУЛЯК^{1*}, А. А. ШВЕЦ^{2*}

^{1*}Каф. «Теоретическая и строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (095) 008 70 53, эл. почта lydm.urs@gmail.com, ORCID 0000-0001-5957-6926

^{2*}Каф. «Теоретическая и строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (050) 214 14 19, эл. почта angela_Shvets@ua.fm, ORCID 0000-0002-8469-3902

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ ПОЕЗДА

Цель. Используя научные публикации, в работе необходимо провести анализ математических моделей, разработанных в Украине, странах СНГ и за рубежом для теоретических исследований динамики поезда, а также показать актуальность дальнейшего их совершенствования. **Методика.** Информационной базой исследования являлись официальные полнотекстовые и реферативные базы данных, научные труды отечественных и зарубежных ученых, профессиональные периодические издания, материалы научно-практических конференций, методические материалы министерств и ведомств. Анализ публикаций о существующих математических моделях, используемых для решения широкого круга задач, связанных с исследованием динамики поезда, показывает целесообразность их применения. **Результаты.** Полученные результаты исследований были использованы: 1) при проектировании новых типов поглощающих аппаратов и воздухораспределителей; 2) при разработке способов управления движением обычных и соединенных поездов; 3) при создании соответствующих режимных карт; 4) при разработке энергосберегающих способов ведения поездов; 5) при пересмотре Строительных норм и правил (СНиП II-39.76); 6) при выборе параметров для созданной в ДИИТе автономной системы автоматического управления вспомогательным локомотивом, находящимся в составе соединенного поезда; 7) при создании на базе компьютерных технологий тренажеров для обучения машинистов; 8) при оценке динамических показателей экипажей, характеризующих безопасность движения. Ученые всего мира проводят численные эксперименты, связанные с оценкой динамики поезда, с помощью математических моделей, которые необходимо постоянно совершенствовать. **Научная новизна.** Авторами изложены основные теоретические положения, на основании которых разра-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ботаны существующие математические модели для решения задач динамики поезда. Проведенный анализ научных статей, опубликованных в Украине, странах СНГ и за рубежом, позволяет определить наиболее актуальные области применения математических моделей. **Практическая значимость.** Практическое значение полученных результатов заключается в научной обоснованности и прикладной направленности теоретических исследований с использованием математических моделей, совершенствование которых позволит расширить круг решаемых задач, повысить уровень достоверности получаемых результатов.

Ключевые слова: длинносоставные поезда; динамика поезда; математические модели продольных колебаний поезда; моделирование межвагонных соединений; научные статьи; продольные силы в поезде; тренажеры машинистов локомотивов

REFERENCES

1. Barbas, I. G. (1962). Analiticheskoye opredeleniye usiliy, voznikayushchikh v upryazhnykh priborakh pri dvizhenii cherez perelom profilya puti. *Sbornik nauchnykh trudov DIITA*, 42, 4-12. (in Russian)
2. Blokhin, Y. P., & Skalozub, V. V. (2002). Vybór rezhimov vedeniya poyezdov kak stokhasticheskaya zadacha vektornoy optimizatsii. *Transport: Proceedings Scientific publication*, 7, 28-31. (in Russian)
3. Blokhin, Y. P., & Manashkin, L. A. (1982). *Dinamika poyezda (nestatsionarnyye prodolnyye kolebaniya)* [Monograph]. Moscow: Transport. (in Russian)
4. Blokhin, Y. P. (1958). O vliyanií neodnorodnosti poyezda na dinamicheskiye usiliya, voznikayushchiye v upryazhnykh priborakh pri troganií s mesta. *Trudy DIITA*, 26, 4-12. (in Russian)
5. Boldyrev, A. P., Gurov, A. M., & Fatkov, E. A. (2007). The promising characteristics of shock-absorbing devices in the train operating conditions. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 15, 146-153. (in Russian)
6. Boldyrev, A. P., & Gurov, A. M. (2014). Efficiency of using high energy-consumption cushioning devices in freight wagons. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 3(52), 43-44. (in Russian)
7. Vereskun, V. D., & Pritykin, D. E. (2014). Mnogomassovaya model podvizhnoy edinitsy dlya issledovaniya prodolnoy dinamiki gruzovogo poyezda. *Vestnik RGUPS*, 2, 16-27. (in Russian)
8. Voronova, Y. V., & Rychkov, N. P. (2015). Dinamika gruzovykh vagonov na krivykh malogo radiusa. *Proceeding of the International Conference on Transport Infrastructure of the Siberian region*, 2, 445-449. Retrieved from https://www.irgups.ru/sites/default/files/irgups/journal/tom_2_0.pdf (in Russian)
9. Zhukovskiy, N. Y. (1919). Rabota (usiliye) russkogo skvoznogo i amerikanskogo neskvoznogo tyagovogo pribora pri troganií poyezda s mesta i v nachale ego dvizheniya. *Byulleten Eksperimentalnogo instituta putey soobshcheniya*, 13, 31-57. (in Russian)
10. Vasilev, A. S., Boldyrev, A. P., Keglín, B. G., & Gurov, A. M. (2014). Research of freight car's longitudinal loading equipped new frictional absorbing devices. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 1, 12-17. (in Russian)
11. Karpychev, V. A., & Chuev, S. G. (2017). Umensheniye prodolnykh silovykh vozmushcheniy pri raspredelenom upravlenii tormozheniyem poyezda (RUTP). *Tekhnika zheleznykh dorog*, 1, 66-72. (in Russian)
12. Lazaryan, V. A., Blokhin, Y. P., Manashkin, L. A., & Belik, L. V. (1971). K voprosu o matematicheskom opisanií protsessov, proiskhodyashchikh pri perekhodnykh rezhimakh dvizheniya poyezdov s zazorami v upryazhi. *Trudy DIITA*, 103, 18-28. (in Russian)
13. Kompaniets, D. I. (2017). Tyazhelovesnoye dvizheniye kak faktor optimizatsii perevozochnogo protsessu. *Proceedings of the International Scientific Conference Nauchnyye issledovaniya: teoriya, metodika i praktika*, 1, 303-305. (in Russian)
14. Kossov, V. S., & Lunin, A. A. (2016). Studies of longitudinal dynamics and impact of articulated trains weighing 12600 t on the rail track. *Tyazheloye Mashinostroeniye*, 9, 21-26. (in Russian)
15. Lazaryan, V. A. (1949). *Issledovaniye neustanovivshikhsya rezhimov dvizheniya poyezda*. Moscow: Transzheldorizdat. (in Russian)
16. Lazaryan, V. A. (1953). *Issledovaniya perekhodnykh rezhimov dvizheniya poyezdov pri sploshnom tormozhenii i pri perekhodakh cherez perelomy prodolnogo profilya puti*. *Trudy DIITA*, 23, 5-23. (in Russian)
17. Lazaryan, V. A. (1956). *Issledovaniya usiliy, voznikayushchikh pri perekhodnykh rezhimakh dvizheniya v sterzhnyakh s razlichnyimi uprugimi nesovershenstvami*. *Trudy DIITA*, 25, 5-50. (in Russian)
18. Lazaryan, V. A. (1952). K voprosu o vybore raschetnoy skhemy pri issledovanii perekhodnykh rezhimov dvizheniya poyezdov. *Tekhnika zheleznykh dorog*, 6, 17-19. (in Russian)
19. Lazaryan, V. A. (1948). O dinamicheskikh usiliyakh v upryazhnykh priborakh poyezda pri nemonotonnom izmenenii sily tyagi. *Trudy DIITA*, 19, 63-82. (in Russian)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

20. Lazaryan, V. A. & Blokhin, Y. P. (1974). O matematicheskom modelirovanii dvizheniya poyezda po pere-lomam prodolnogo profilya puti. *Trudy MIITa*, 444, 83-123. (in Russian)
21. Lazaryan, V. A. (1973). O perekhodnykh rezhimakh dvizheniya poyezda. *Trudy DIITa*, 152, 3-43. (in Russian)
22. Lazaryan, V. A., Blokhin, Y. P., & Barbas, I. G. (1974). Ob usiliyakh v gruzovykh poyezdakh pri tormozhenii lokomotiva pryamodeystvuyushchim tormozom. *Trudy MIITa*, 444, 67-73. (in Russian)
23. Lazaryan, V. A., Barbas, I. G., & Manashkin, L. A. (1964). Elektricheskoye modelirovaniye dvizheniya od-norodnykh poyezdov cherez perelomy prodolnogo profilya puti. *Trudy DIITa*, 50, 5-20. (in Russian)
24. Akulov, A. S., Zheleznov, K. I., Zabolotnyi, O. M., Ursulyak, L. V., Chabanyuk, E. V., Chernyaev, D. V., & Shvets, A. O. (2017). Modulnyi trenazher mashynista. *Lokomotyv-Inform*, 7-8, 42-49. (in Ukrainian)
25. Kurtikov, R. M., Sidrakov, A. A., Kuznetsova, Y. A., & Ivannikova, Y. A. (2016). Obespecheniye ekologicheskoy bezopasnosti zheleznodorozhnoy infrastruktury pri ekspluatatsii tyazhelovesnykh poyezdov. *Proceedings of the International Scientific Conference Sovremennyye problemy proektirovaniya, stroitelstva i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti*, 191-194. (in Russian)
26. Shvets, A. A., Zheleznov, K. I., Akulov, A. S., Zabolotny, A. N., & Chabanyuk, E. V. (2016). Determination the permissible forces in assessing the lift resistant factor of freight cars in trains. *Science and Transport Pro-gress*, 1(61), 189-192. doi: 10.15802/stp2016/61045. (in Russian)
27. Boldyrev, A. P., Zhirov, P. D., Vasilyev, A. S., & Borovikova, S. V. (2013). Assessment of overall perfor-mance of the frictional ceramic-metal elements of absorbing devices under various service conditions. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2(38), 22-31. (in Russian)
28. Pudovikov, O. E., & Murov, S. A. (2015) Modelirovaniye rezhima regulirovochnogo tormozheniya dlinnosostavnogo poyezda. *World of Transport and Transportation*, 2(57), 28-33. (in Russian)
29. Blokhin, Y. P., Manashkin, L. A., Stambler, Y. L., Masleeva, L. G., Mikhaylichenko, V. M., & Granovskaya, N. I. (1986). *Raschety i ispytaniya tyazhelovesnykh poyezdov*. Moscow: Transport. (in Russian)
30. Sekerova, S. A., Adilkhanov, Y. G., & Musaev, Z. S. (2010). Analiz nauchno-issledovatel'skikh rabot po prodolnoy dinamike gruzovogo poyezda. *The Bulletin of KazAT*, 6(67), 32-36. (in Russian)
31. Selenskaya, T. V., & Selenskiy, E. I. (2014). Quality of service and reliability of railway vehicle autocoupling shock absorbers operating in randomly grouped freight trains. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2(42), 57-63. (in Russian)
32. Stupin, D. A., & Belyaev, V. I. (2016). Research of influence of energy consumption of draft gears on longitu-dinal forces in the tank car train. *Vestnik of the Railway Research Institute*, 75(3), 154-160. (in Russian)
33. Druzhinina, O. V., Sychev, V. P., Cherkashin, Y. M., & Kachalkin, V. V. (2014) Teoreticheskiye aspekty otsenki bezopasnosti sistem zheleznodorozhnogo transporta. *Vnedreniye sovremennykh konstruktсий i peredovykh tekhnologiy v putevoye khozyaystvo*, 7(7), 168-181. (in Russian)
34. Fatkov, E. A. (2009) Programmnyy kompleks dlya modelirovaniya i rascheta zadach prodolnoy dinamiki poezda. *New Materials and Technologies in Machinebuilding*, 10, 130-133. (in Russian)
35. Feoktistov, V. P., Nevinsky, A. V., & Nazarov, D. V. (2015) Uchet ogranicheniy po prodolnoy dinamike pri regulirovanii puskovogo rezhima elektropoyezdov. *World of Transport and Transportation*, 3(58), 94-100. (in Russian)
36. Blokhin, Y. P., Boychevskiy, O. G., Grebenyuk, P. T., & Feoktistov, I. B. (1970). Eksperimentalnyye issledo-vaniya prodolnykh usiliy v gruzovykh poyezdakh massoy do 10 tys. tonn pri perekhodnykh rezhimakh dvizheniya. *Trudy TsNII MPS*, 425, 55-85. (in Russian)
37. Yazykov, V. N. (2015). Numerical simulation of train dynamics in real time mode. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2(46), 123-126. (in Russian)
38. Yang, L., Kang, Y., Luo, S., & Fu, M. (2015). Assessment of the curving performance of heavy haul trains under braking conditions. *Journal of Modern Transportation*, 23(3), 169-175. doi: 10.1007/s4053. (in English)
39. Castagnetti, F., & Toubol, A. (Eds.) (2014). *The MARATHON 1500 m train opening up new horizons in rail freight transport in Europe*. Brussels: Drifosett. (in English)
40. Dos Santos, G. F. M., & Barbosa, R. S. (2016). Safety analysis of a railway car under the periodic excitation from the track. *Cogent Engineering*, 3(1), 1-12. doi: 10.1080/23311916.2016.1263027. (in English)
41. Milković, D., Simić, G., Tanasković, J., Jakovljević, Ž., & Lučanin, V. (2015). Experimental and numerical determination of the wheel-rail angle of attack. *Facta Universitatis, Series Mechanical Engineering*, 13(2), 123-131. (in English)
42. Ivanov, V., & Savitski, D. (2015). Systematization of Integrated Motion Control of Ground Vehicles. *IEEE ACCESS*, 3, 2080-2099. doi: 10.1109/ACCESS.2015.2496108. (in English)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

43. Lee, D. C., & Kang, C.-G. (2016). A mechanical brake hardware-in-the-loop simulation of a railway vehicle that accounts for hysteresis and pneumatic cylinder dynamics. *Advances in Mechanical Engineering*, 7 (11), 1-11. doi: 10.1177/1687814015616086. (in English)
44. CER. (2016). *Longer trains Facts & Experiences in Europe: Results of the CER working group on longer and heavier trains*. Brussels: Community of European railway and infrastructure companies. (in English)
45. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. *Proceedings of 21st International Conference on Transport Means 2017, Lithuania*, 3, 973-976. (in English)
46. Lin, F., Liu, S., Yang, Z., Zhao, Y., Yang, Z., & Sun, H. (2016). Multi-Train Energy Saving for Maximum Usage of Regenerative Energy by Dwell Time Optimization in Urban Rail Transit Using Genetic Algorithm. *Energies*, 9 (208), 1-21. doi: 10.3390/en9030208. (in English)
47. Naeimi, M., Tatari, M., & Esmaeilzadeh, A. (2015). Dynamics of the monorail train subjected to the braking on a straight guideway bridge. *Archive of Mechanical Engineering*, 62 (3), 363-375. doi: 10.1515/meceng-2015-0021. (in English)
48. Blochinas, E., Dailydka, S., Lingaitis, L., & Ursuliak, L. (2016). *Nestacionarieji ir kvazistatiniai geležinkelio traukinių judėjimo režimai*. Vilnius: Technika. (in Lithuanian)
49. Niu, G., & Huang, X. (2017). Failure Prognostics of Locomotive Electro-Pneumatic Brake Based on Bond Graph Modeling. *IEEE Access*, 5, 15030-15039. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2734120. (in English)
50. Frilli, A., Meli, E., Nocciolini, D., Pugi, L., & Rindi, A. (2015). Object oriented simulation of longitudinal train dynamics efficient tools to optimize sustainability and efficiency of railway systems. *AEIT International Annual Conference, 14-16 Oct. 2015, Naples, Italy*. doi: 10.1109/AEIT.2015.7415257. (in English)
51. Qi, Z., Huang, Z., & Kong, X. (2012). Simulation of longitudinal dynamics of long freight trains in positioning operations. *Vehicle System Dynamics*, 50(9), 1409-1433. doi: 10.1080/00423114.2012.661063. (in English)
52. Ceraolo, M., Lutzemberger, G., Frilli, A., & Pugi, L. (2016). Regenerative braking in high speed railway applications: Analysis by different simulation tools. *16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 7-10 June 2016, Florence, Italy*, 1-5. doi: 10.1109/EEEIC.2016.7555474. (in English)
53. Shabana, A. A., Aboubakr, A. K., Ding, L. (2012). Use of the non-inertial coordinates in the analysis of train longitudinal forces. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 7(1), 1-10. doi: 10.1115/1.4004122. (in English)
54. Stewart, M. F., Punwani, S. K., Andersen, D. R., Booth, G. F., Singh, S. P., Prabhakaran, A. (2015). Simulation of Longitudinal Train Dynamics: Case Studies Using the Train Energy and Dynamics Simulator (TEDS). *Joint Rail Conference, San Jose, California, USA, March 23-26, 2015*. doi: 10.1115/JRC2015-5760. (in English)
55. Huang, C., Luo, K., Dang, J., Qin, K., & Li, D. (2017). Spatial Kinetics Model of Supercavitating Vehicles Reflecting Conic-Like Oscillation. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017, 1-12. doi: 10.1155/2017/3671618. (in English)
56. Su, S., Tang, T., & Wang, Y. (2016). Evaluation of Strategies to Reducing Traction Energy Consumption of Metro Systems Using an Optimal Train Control Simulation Model. *Energies*, 9(2), 2-19. doi: 10.3390/en9020105. (in English)
57. Tavan, N., Tavan, M., & Hosseini, R. (2015). An optimal integrated longitudinal and lateral dynamic controller development for vehicle path tracking. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 12(6), 1006-1023. doi: 10.1590/1679-78251365. (in English)
58. Lin, X., Wang, Q., Wang, P., Sun, P., & Feng, X. (2017). The Energy-Efficient Operation Problem of a Freight Train Considering Long-Distance Steep Downhill Sections. *Energies*, 10 (6), 1-26. doi: 10.3390/en10060794. (in English)
59. Ursuljak, L., & Romanjuk, Y. (2011). On the problem of dynamic response of the long trains including joint ones with the liquid cargo. *Proceedings of the 7th International Scientific Conference Transbaltica 2011, May 5-6, 2011, Vilnius, Lithuania*, 269-275. Retrieved from http://leidykla.vgtu.lt/conferences/Transbaltica_2011/pdf/052.pdf. (in English)
60. Varazhun, I., Shimanovsky, A., & Zavarotny, A. (2016). Determination of Longitudinal Forces in the Cars Automatic Couplers at Train Electrodynamic Braking. *Proceedings of the 9th international scientific conference Transbaltica-2016, May 7-8, 2016, Vilnius, Lithuania*, 134, 415-421. doi: 10.1016/j.proeng.2016.01.032. (in English)
61. Wang, X., Tang, T., & He, H. (2017). Optimal control of heavy haul train based on approximate dynamic programming. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(4), 1-15. doi: 10.1177/1687814017698110. (in English)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

62. Wang, X., & Tang, T. (2017). Optimal operation of high-speed train based on fuzzy model predictive control. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(3), 1-14. doi: 10.1177/1687814017693192. (in English)
63. Wei, W., & Hu, Y. (2012). Influence of train tail exhaust device on longitudinal force of train. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 12(5), 43-49. (in English)
64. Wu, Q., Luo, S., & Cole, C. (2014). Longitudinal dynamics and energy analysis for heavy haul trains. *Journal of Modern Transportation*, 22(3), 127-136. doi: 10.1007/s40534-014-0055-x. (in English)

Prof. V. L. Horobets, Dr. Sc. (Techn.) (Ukraine); Prof. K. S. Zabolotnyi, Dr. Sc. (Techn.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: July 31, 2017

Accessed: October 30, 2017

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

UDC 678.049.2

ANURAG V. TIWARI^{1*}, Y.R.M. RAO^{2*}

^{1*}Dep. «Civil Engineering», Sipna College of Engineering and Technology, Amravati, Maharashtra, India, 444701, tel. +91 (827) 539 57 52, e-mail anuragearth@gmail.com, ORCID 0000-0001-5276-9514

^{2*}Dr. Pauls Engineering College, Villupuram Dist, Tamilnadu, India, 605109
tel. +91 (978) 65 58 12, e-mail drymrao@rediffmail.com, ORCID 0000-0002-5185-0377

INVESTIGATION ON UTILITY OF PLASTIC WASTE AS AN ADDITIVE FOR BITUMINOUS CONCRETE USING WET PROCESS OF MIXING

Purpose. Plastic waste has become a major environmental issue of concern due to its exponential growth due to rapid urbanization. The paper investigates utility of plastic waste as an additive for bituminous concrete using wet process of mixing. **Methodology.** The methodology for the present paper has been designed with complex research consisting of Marshall mix design of the bituminous mix added with plastic waste for modifying bitumen using wet process of mixing, performing the tests on the samples and analyzing the results in the form of table and figures. In the present paper LDPE and HDPE type of plastic waste are used to modify the bitumen. **Finding.** The results show that addition of 6 percent of bitumen improves the Marshall properties of the mix. Use of plastic to modify the bitumen not only makes the road surface more durable but also it is an eco-friendly way of proper disposal of plastic waste. **Originality.** The processes used for mixing the plastic waste to the bitumen are dry process and wet process. Dry process of mixing the plastic waste to the bituminous mix is most common and lot of study is carried out on its application. In the present paper wet process of mixing has not yet been studied much. **Practical Value.** The practical application of utilizing the plastic waste to modify bitumen in the bituminous mix improves the stability values resulting in the more durable road surface. Also the method ensures the proper disposal of plastic waste in eco-friendly way.

Keywords: plastic waste; waste reuse; road construction; asphalt concrete; wet process

Introduction

Plastic is a non-biodegradable material increasing exponentially due to tremendous growth in population, urbanization and changed life style with its widespread applications. Researchers found that the material can remain on earth for 4500 years without degradation [1]. Several studies have proven the health hazard caused by improper disposal of plastic waste. In this scenario, the conventional waste disposal methods are found to be inadequate. Researchers and scientist are trying to

work on reduction, recycling, reusing and energy recovery from solid wastes. Study revealed that, out of total plastic waste in India, around 94% waste comprises of thermoplastic content, which is recyclable such as PET, LDPE, HDPE, PVC etc. and remaining 6% belongs to the family of thermoset and other categories of plastics such as SMC, FRP, multi-layered, thermocol, etc.

In the current era of economic development with such a hefty population, it is required to have a dense network of road for the smooth transportation of goods & passengers. India, despite having one of the largest railway network moves mostly

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

on roads. Be it passenger or freight all move on roads. Nearly 65% of freight and 85% of passenger traffic use roads for their movement [4]. In India flexible pavements are generally preferred due various advantages such as low cost, availability of material, speed of construction, ease in construction, low maintenance and ease in upgradation. It should be noted that major portion of highway in India is flexible. Recent research suggests that these plastic materials can be used in road construction as a binding material. Polyethylene is extensively used plastic material, and it has been found to be one of the most effective polymer additives in road construction. Use of plastic along with the bitumen in construction of roads not only increases its ductility and smoothness but also makes it economically sound and environment friendly [17]. From an environmental and economic point of view, the use of recycled instead of virgin materials could have several advantages such as help easing landfill pressures and reducing demands of extraction from natural quarries. Furthermore, this would be an alternative solution for environmental pollution by utilizing waste materials as secondary materials in road construction projects [14]. Waste plastic bitumen road is found to be stronger, durable, withstand heavy loads, absorption of radiations, resistive to cracking and rutting. Generally two processes are adopted first is Wet process which is basically the polymer enriched/modified bitumen process and secondly the Dry process that is basically poly coated aggregate process [4].

Literature Review

Amit P. Gawande (2013) had used the plastic waste in the construction of bituminous road construction by replacing conventional type of aggregate with plastic coated aggregate and also mixed in bitumen. The dry process was used for the aggregate while the wet process was used for the bitumen. The dry process helps to have better binding of bitumen with the plastic-waste coated aggregate due to increased bonding and increased area of contact between polymer and bitumen. The polymer coating also reduces the voids. This

prevents the moisture absorption and oxidation of bitumen by entrapped air. This technique adds a cumulative benefit to National Economy also gives contribution to environmental benefits, employment generation and agricultural efficiency [1].

Mayura M. Yeole et.al, (2014) have highlighted the developments in using plastics waste to make plastic roads. In the flexible pavement construction where bitumen binders are used, it is of significant importance that the binders form ductile thin films around the aggregates. This serves as a satisfactory binder in improving the physical interlocking of the aggregates. The objective behind the experiment was to measure the ductility of given sample of homogeneous mixture i.e. bitumen and waste plastic and to determine the suitability of mix. The bitumen was prepared using waste plastic for varying percentage by wet process and allowed to test with the help of ductility apparatus. Percentage of waste plastic added in bitumen, the ductility value of modified bitumen is decreases. If the ductility value is less than specified value then road surfaces may get cracked and due to this life of pavement will be reduced, Hence 9% of the plastic waste must be added to the bitumen for the better performance of the roads using wet process [17].

Shirish N. Nemade et.al, (2013) use the polymer waste with or without crumb rubber to modify the properties of bitumen. The wastes like crumb rubber, HDPE waste, LDPE, PP Waste and mixture of crumb rubber- HDPE waste were taken into consideration. When these plastics are added into bitumen, various differentiating results have obtained. The addition of this waste is determined by means of weight % of bitumen. It is called out by two processes, viz, dry and wet process. Dry process is used for aggregate while wet process is used for bitumen. The waste obtained and mixed in different forms i.e. polymer waste was in shredded form and HDPE waste in strand form and crumb rubber was in powder form. From the obtained results they conclude that it not only strengthened the road construction but also increased the road life as well as will help to improve the environment and also creating a source of income [16].

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Dhirar Taha Mohammed et.al, (2014) used polyethylene terephthalate (PET) as asphalt modifier in asphalt. The research paper has focused on the ability of improving the performance of asphalt mixtures using Polyethylene Terephthalate (PET) obtained from plastic waste in Mosul landfills. Five different percentages of PET are added using wet process. Marshall test, moisture susceptibility and durability test are conducted on unmodified and modified asphalt mixtures. The results showed that the optimum polymer content of PET is 4%. the addition of this percentage of polymer lead to an improvement in the durability, resistance of asphalt mixture to moisture damage & increase of the Marshall stability by 36.09% while the flow values reduced slightly [15].

Dixit Sandhya et.al, (2013) quoted that in the wet process, shredded waste plastic is mixed with hot bitumen at a temperature 1600C with the help of powerful mechanical stirrers. The stabilizers are also added to the bitumen during heating. The mix is then laid on the road. In this process, mixing of higher percentages of is however, difficult because of the difference in viscosities of molten plastic waste and bitumen [5].

Bindu et al. (2010) investigate the benefits of stabilizing the stone mastic asphalt (SMA) mixture in flexible pavement with shredded waste plastic. Conventional (without plastic) and the stabilized SMA mixtures were subjected to performance tests including Marshall Stability, tensile strength and compressive strength tests. Triaxial tests were also conducted with varying percentage bitumen by weight of mineral aggregate (6% to 8%) and by varying percentage plastic by weight of mix (6% to 12% with an increment of 1%). Plastic content of 10% by weight of bitumen is recommended for the improvement of the performance of Stone Mastic Asphalt mixtures [2].

Materials and Methods

Various materials used in the present study are bitumen, aggregate (fine and coarse), filler, and shredded plastic waste. The bitumen used for present study is of 60/70 penetration grade and is obtained from BPCL, Nagpur and PWD, Amravati.

Coarse aggregates, fine aggregates and fly ash were collected from local producer of crushed aggregates. The plastic waste was segregated from the municipal waste and shredded at the local plastic waste recycling plant at MIDC, Amravati.

The experiment was conducted into two parts. The first part consists of calculating the optimum value of the bitumen and second part consists of optimizing the quantity of plastic waste used to replace the bitumen. Wet process was used to modify the bitumen and Marshall Samples were prepared using the same bitumen. In this process the coarse aggregates and fine aggregate and fly ash were heated to 170°C. The bitumen was heated to 160°C and shredded plastic waste retaining on 2.36 mm sieve is added in proportion by weight to the hot bitumen and mixed thoroughly using mechanical stirrer to obtain homogenous mix. The waste plastic LDPE, PVC and HDPE were added varying from 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10% and 12% by the weight of bitumen. This modified bitumen was added to the homogenous mix of aggregate, bitumen and plastic waste. After proper mixing the mix was placed in the compaction mould and compacted with 75 blows on both face to get Marshall Samples. The stability and flow were obtained by testing the sample on the digital Marshall frame and the average values for Bulk specific Gravity, AV, VMA and VFB were calculated and graphs were plotted. The values obtained stability values are corrected after applying the correction for thickness of the sample. According to Das, A. and Chakroborty P. the following properties were calculated based on volumetric analysis [3].

Bulk Specific Gravity of sample (Gb)

The bulk density of the sample is determined by weighing the sample (W_a) and by taking its submerged weight (W_w). The specific gravity of the specimen is given by

$$Gb = \frac{W_a}{W_a - W_w}$$

where, Gb = Bulk Specific Gravity of sample, W_a = Weight of sample in air (g), W_w = Weight of sample in water (g).

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Theoretical specific gravity of the mix (Gt)

Theoretical specific gravity Gt is the specific gravity without considering air voids, and is given by:

$$G_t = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_f + P_b}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3} + \frac{P_f}{G_f} + \frac{P_b}{G_b}}$$

where, P1 is the Percentage by weight of 20mm coarse aggregate in the total mix, P2 is the Percentage by weight of 10mm coarse aggregate in the total mix, P3 is the Percentage by weight of Stone Dust in the total mix, Pf is the Percentage by weight of filler in the total mix, Pb is the Percentage by weight of bitumen in the total mix, G1 is the specific gravity of 20mm coarse aggregate, G2 is the specific gravity of 10mm coarse aggregate, G3 is the specific gravity of Stone Dust, Gf is the specific gravity of Filler, Gb is the specific gravity of bitumen

Bulk Specific Gravity of Aggregate (Gsb)

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_f}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3} + \frac{P_f}{G_f}}$$

where, P1 is the Percentage by weight of 20mm coarse aggregate in the total mix, P2 is the Percentage by weight of 10mm coarse aggregate in the total mix, P3 is the Percentage by weight of Stone Dust in the total mix, Pf is the Percentage by weight of filler in the total mix, G1 is the specific gravity of 20mm coarse aggregate, G2 is the specific gravity of 10mm coarse aggregate, G3 is the specific gravity of Stone Dust, Gf is the specific gravity of filler.

Air voids percent (AV)

It is the total volume of the small pockets of air between the coated aggregate particles throughout a compacted paving mixture, expressed as a percent of the bulk volume of the compacted paving mixture. The amount of air voids in a mixture is extremely important and closely related to stability, durability and permeability. The following equation represents the percentage of air voids in the specimen.

$$AV = \frac{(G_t - G_b)100}{G_t}$$

Voids in the Mineral Aggregate (VMA)

VMA is the volume of inter granular void space between the aggregate particles of a compacted paving mixture. It includes the air voids and the volume of the asphalt not absorbed into the aggregate. VMA describes the portion of space in a compacted asphalt pavement or specimen which is not occupied by the aggregate. VMA is expressed as a percentage of the total volume of the mix Voids Filled with Binder (VFB).

$$VMA = \left[1 - \frac{P_s \times G_{mb}}{G_{sb}} \right] 100$$

where, Ps = Aggregate content, %; Gsb = Bulk specific gravity of total aggregate; Gmb = Bulk specific gravity of mixed aggregate.

Voids Filled with Bitumen (VFB)

VFB is the voids in the mineral aggregate frame work filled with bitumen binder. This represents the volume of the effective bitumen content. It can also be described as the percent of the volume of the VMA that is filled with bitumen. VFB is inversely related to air voids and hence as air voids decreases, the VFB increases.

$$VFB = 100 \frac{(VMA - AV)}{VMA}$$

where, AV is air voids in the mix and, VMA is the voids in the mineral aggregate.

Results and Discussion

The optimum binder content for the mix was found to be 6% since the maximum stability was found at 6 % of binder content. The obtained value was further used for the subsequent study. During the experiment PVC type of plastic waste was also used but while mixing the shredded PVC plastic with hot bitumen some gases were coming out of the mix and hence PVC plastic was not used for further experiment. The details of volumetric and mechanical properties are tabulated in the table and figures below.

Table 1

Optimum Bitumen Value Calculation

Bitumen content %	Bulk Specific Gravity G _b (gm/cm ³)	Theoretical Specific Gravity G _t (gm/cm ³)	Void Analysis			Marshall Stability (kN)		Flow(mm)
			AV (%)	VMA (%)	VFB (%)	Measured	Corrected	
5	2.195	2.389	8.131	23.046	64.818	10.52	9.40	2.32
5.5	2.204	2.361	6.673	23.146	71.334	12.14	10.69	2.54
6	2.205	2.334	5.527	23.508	76.605	13.89	11.95	2.64
6.5	2.200	2.307	4.639	24.076	80.897	12.11	10.70	3.22
7	2.198	2.281	3.638	24.552	85.285	11.56	10.05	3.72

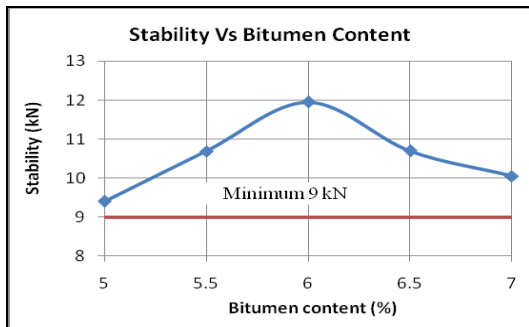


Fig. 1. Bitumen Content Vs Stability

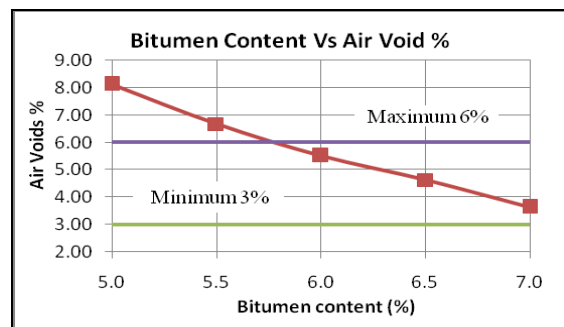


Fig. 4. Bitumen Content Vs Air Void %

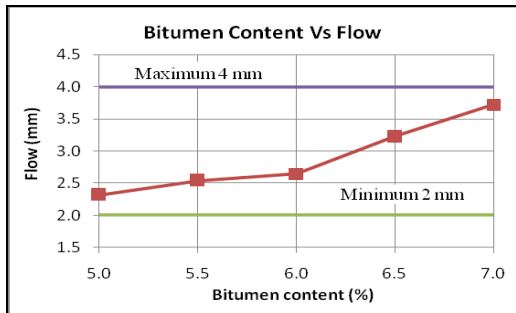


Fig. 2. Bitumen Content Vs flow

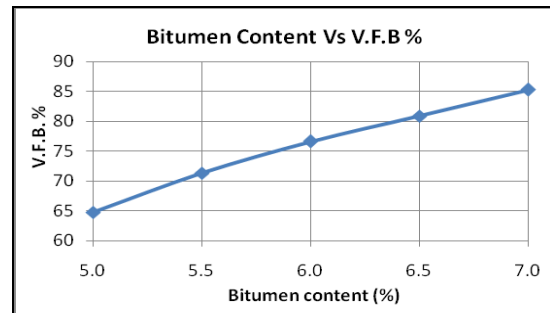


Fig. 5. Bitumen Content Vs V.F.B %

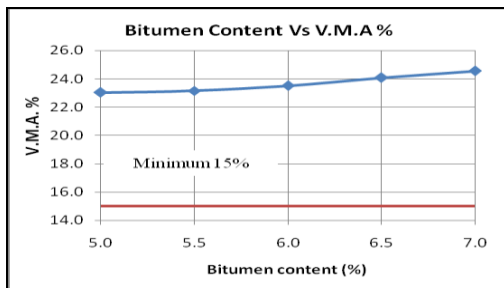


Fig. 3. Stability Vs V.M.A %

The volumetric and mechanic properties of the mix were obtained after adding LDPE and HDPE types of plastic at 2%, 4%, 6%, 8%, 10% and 12% by the weight of bitumen and the results are tabulated in the table and figures below.

Table 2

Plastic Waste Calculation

Type of Plastic	Plastic Waste %	Bulk Specific Gravity G _b (gm/cm ³)	Theoretical Specific Gravity G _t (gm/cm ³)	Void Analysis			Marshall Stability (kN)		Flow(mm)
				AV (%)	VMA (%)	VFB (%)	Measured	Corrected	
	0	2.205	2.334	5.53	23.51	76.61	13.89	11.95	2.64
LDPE	2	2.224	2.334	4.72	22.86	79.34	13.02	13.02	2.46
HDPE	2	2.22	2.334	4.89	22.99	78.75	13.34	12.85	2.49
LDPE	4	2.241	2.334	3.98	22.26	82.12	14.76	13.73	2.52
HDPE	4	2.232	2.334	4.35	22.56	80.70	14.58	14.00	2.56
LDPE	6	2.25	2.334	3.58	21.93	83.69	15.35	14.73	2.65
HDPE	6	2.241	2.334	3.98	22.26	82.11	16.39	14.59	2.71
LDPE	8	2.235	2.334	4.22	22.45	81.21	15.44	13.94	2.78
HDPE	8	2.235	2.334	4.24	22.47	81.21	15.39	14.10	2.88
LDPE	10	2.219	2.334	4.93	23.02	78.60	14.43	13.03	3.27
HDPE	10	2.213	2.334	5.17	23.22	77.74	14.37	13.17	3.34
LDPE	12	2.201	2.334	5.71	23.65	75.88	13.04	11.78	4.37
HDPE	12	2.195	2.334	5.94	23.85	75.10	13.23	11.95	4.10

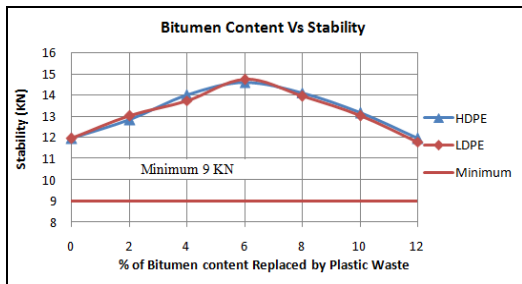


Fig. 6. % of Bitumen replaced by plastic waste Vs Stability

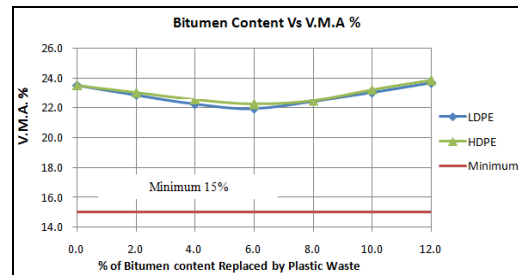


Fig. 8. % of Bitumen replaced by plastic waste Vs Air void %

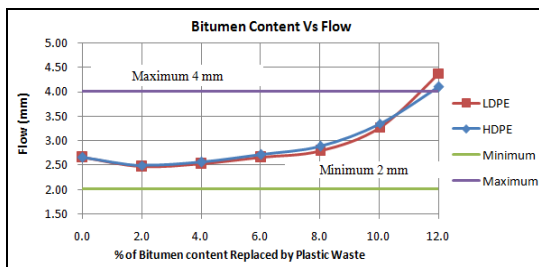


Fig. 7. % of Bitumen replaced by plastic waste Vs Flow

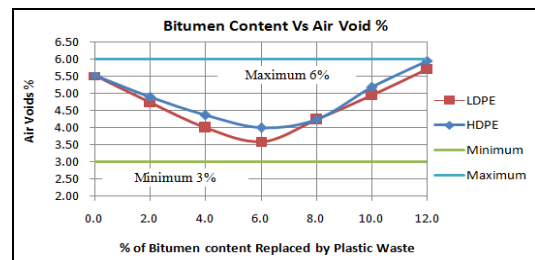


Fig. 9. % of Bitumen replaced by plastic waste Vs V.F.B %

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

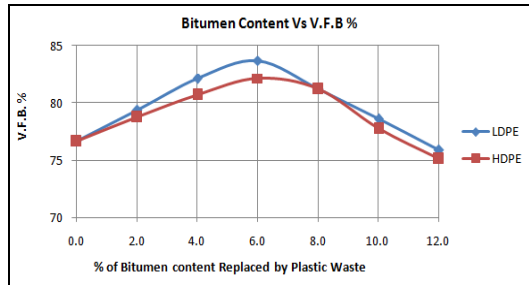


Fig. 10. % of Bitumen replaced by plastic waste Vs V.M.A%

Conclusions

– From the investigation on utility of plastic waste as an additive for bituminous concrete using wet process of mixing it can be concluded that addition of plastic improves the Marshall properties of the mix.

– The Addition of 6% of the LDPE and HDPE plastic waste improves the stability value of the bituminous mix which results is the increase in the toughness of the mix. The roads can withstand heavy traffic and shows better service life.

– Due to addition of plastic waste the flow value increases resulting the improvement in the workability.

– Addition of plastic waste results in decrease in the air voids which reduces the bleeding of bitumen.

– The volumetric and Marshall properties of the mix show the acceptable trends and could satisfy the specified limits.

– This study has a positive impact on environment and the use of waste plastic in bituminous concrete is eco-friendly way of using waste plastic for road construction.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. An overview on waste plastic utilization in asphaltting of roads / G. Amit, G. Zamare, V. C. Renge, S. Tayde, G. Bharsakale // *Journal of Engineering Research and Studies*. – 2012. – Vol. 3, No. 2. – P. 1–5.
2. Bindu, C. S. Waste plastic as a stabilizing additive in Stone Mastic Asphalt / C. S. Bindu, K. S. Beena // *Intern. Journal of Engineering and Technology*. – 2010. – Vol. 2 (6). – P. 379–387.
3. Das, A. Principles of Transportation Engineering / A. Das, P. Chakroborty. – New Delhi : Prentice Hall of India, 2010. – P. 294–299.
4. Devesh, O. A Proposed Design of Flexible Pavement using Waste Plastic / O. Devesh, D. Kumar // *Intern. Journal of Engineering and Management Research*. – 2014. – Vol. 4. – Iss. 5. – P. 21–26.
5. Dixit, S. Studies on the Improvement of Characteristics of Bitumen with Use of Waste Plastic / S. Dixit, D. Rastogi // *Intern. Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. – 2013. – Vol. 3. – Iss. 3. – P. 895–900.
6. Guidelines for Co-processing of Plastic Waste in Cement Kilns [Electronic resource]. – Delhi : Central Pollution Control Board, 2017. – Available at: http://www.cpcb.nic.in/wast/plasticwast/Co-processing_Guidelines_Final_23.05.17.pdf. – Title from the screen. – Accessed : 11.12.2017.
7. IS:2386-4. Methods of Test for Aggregates for Concrete. Part IV. Mechanical Properties [Electronic resource] – New Delhi : Bureau of Indian Standards, 1963. – Available at: <https://archive.org/details/gov.in.is.2386.4.1963>. – Title from the screen. – Accessed : 12.12.2017.
8. IS:2386-1. Methods of Test for Aggregates for Concrete. Part I. Particle Size And Shape [Electronic resource] – New Delhi : Bureau of Indian Standards, 1963. – Available at: <https://archive.org/details/gov.in.is.2386.1.1963>. – Title from the screen. – Accessed : 12.12.2017.
9. IS:1205-1978. Methods for testing tar and bituminous materials. Determination of Softening point [Electronic resource]. – New Delhi : Bureau of Indian Standards, 2013. – Available at: <http://civilblog.org/2013/05/12/softening-point-of-bitumen-is12051978/>. – Title from the screen. – Accessed : 11.12.2017.
10. IS:2386-3. Methods of test for aggregates for concrete. Part 3. Specific gravity, density, voids, absorption and bulking [Electronic resource]. – New Delhi : Bureau of Indian Standards, 1963. – Available at: <https://archive.org/details/gov.in.is.2386.3.1963>. – Title from the screen. – Accessed : 11.12.2017.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

11. IS:1208-1978. Indian standard methods for testing tar and bituminous materials (Determination of ductility) [Electronic resource]. – New Delhi : Bureau of Indian Standards, 2013. – Available at: <http://civilblog.org/2013/05/12/ductility-value-of-bitumen-is1208-1978/>. – Title from the screen. – Accessed : 11.12.2017.
12. IS:1203-1978. Indian standard methods for testing tar and bituminous materials (Determination of penetration) [Electronic resource]. – New Delhi : Bureau of Indian Standards, 2013. – Available at: <http://civilblog.org/2013/05/12/penetration-value-of-bitumen-is1203-1978/>. – Title from the screen. – Accessed : 11.12.2017.
13. IS:1202-1978. Determination of specific gravity [Electronic resource]. – New Delhi : Bureau of Indian Standards. – Available at: <http://164.100.105.199:8071/php/BIS/IndStndrdLocatr/ISDetails.php?ID=MTgxMzA%3D>. – Title from the screen. – Accessed : 11.12.2017.
14. Modarres, A. Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes / A. Modarres, H. Hamed / Materials&Design. – 2014. – Vol. 61. – P. 8–15. doi: 10.1016/j.matdes.2014.04.046.
15. Mohammed, D. T. Evaluation of Pyrolysis PET Utilization in Asphalt Binder / D. T. Mohammed, Z. H. Hussein // Intern. Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering. – 2014. – Vol. 3. – P. 114–121.
16. Nemade, S. N. Utilization of Polymer Waste for Modification of Bitumen in Road Construction / S. N. Nemade, P. V. Thorat // Scientific Reviews and Chemical Communications. – 2013. – Vol. 2. – Iss. 3. – P. 198–213.
17. Yeole, M. M. Eco-Friendly Binder In Flexible Pavement / M. M. Yeole, V. A. Jagtap // Intern. Journal of Research in Engineering & Technology. – 2014. – Vol. 2. – Iss. 6. – P. 45–50.

A. V. ТИВАРІ^{1*}, І. Р. М. РАО^{2*}

^{1*}Каф. «Цивільне будівництво», Інженерний і технологічний коледж, Сіпна, Амраваті, Махараштра, Індія, 444701, тел. +91 (827) 539 57 52, ел. пошта anuragearth@gmail.com, ORCID 0000-0001-5276-9514

^{2*}Інженерний коледж д-ра Паулса, Віллупурам Діст, Тамілнад, Індія, 605109, тел. +91 (978) 65 58 12, ел. пошта dryumrao@rediffmail.com, ORCID 0000-0002-5185-0377

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ ЯК ДОБАВКИ ДЛЯ БІТУМНОГО БЕТОНУ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ МОКРОГО ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ

Мета. Пластмасові відходи стали серйозною екологічною проблемою, викликаною їх експоненціальним ростом через швидку урбанізацію. В якості вирішення проблеми використовуються відходи для створення міцної дорожньої поверхні. Для змішування пластикових відходів із бітумом вживаються сухий та вологий процеси. Сухий процес змішування пластикових відходів із бітумною сумішшю є найбільш поширеним, проводиться багато досліджень по його застосуванню. Метою даної роботи є дослідження пластикових відходів у якості добавки для бітумного бетону з використанням мокрого процесу змішування. **Методика.** Технологія цієї роботи була розроблена в ході комплексного дослідження, яка в тому числі вивчає склад бітумної суміші Marshall. Даний компонент додавався до пластмасових відходів. Модифікація бітуму, отримана при використанні мокрого процесу змішування, випробовувалася на дослідних зразках. Аналіз результатів також представлявся у формі таблиці та малюнків. У цій роботі для переробки бітуму використовуються поліетиленові відходи LDPE і HDPE. **Результати.** Отримані результати показують, що додавання 6 % бітуму покращує властивості суміші Marshall. Використання пластика для модифікації бітуму не тільки робить дорожню поверхню більш довговічною, але також є екологічно чистим способом правильної утилізації пластикових відходів. **Наукова новизна.** Розширено уявлення про перевагу використання пластикових відходів у якості компонентів бітумного бетону при застосуванні мокрого процесу змішу-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

вання. У той же час автори підкреслюють, що в даній роботі мокрий процес змішування ще не вивчений у повному обсязі. **Практична значимість.** Практичне застосування утилізації пластикових відходів для модифікації бітуму в бітумній суміші підвищує значення стабільності, що призводить до більш міцної дорожньої поверхні. Крім того, метод забезпечує належну утилізацію пластикових відходів екологічно безпечним способом.

Ключові слова: пластикові відходи; повторне використання відходів; дорожнє будівництво; асфальтобетон; мокрий процес

А. В. ТИВАРИ^{1*}, И. Р. М. РАО^{2*}

^{1*}Каф. «Гражданское строительство», Инженерный и технологический колледж, Сипна, Амравати, Махараштра, Индия, 444701, тел. +91 (827) 539 57 52, эл. почта anuragearth@gmail.com, ORCID 0000-0001-5276-9514

^{2*}Инженерный колледж д-ра Паулса, Виллупурам Дист, Тамилнаду, Индия, 605109
тел. +91 (978) 65 58 12, эл. почта drygmrao@rediffmail.com, ORCID 0000-0002-5185-0377

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ ДЛЯ БИТУМНОГО БЕТОНА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МОКРОГО ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ

Цель. Пластмассовые отходы стали серьезной экологической проблемой, вызванной их экспоненциальным ростом из-за быстрой урбанизации. В качестве решения проблемы используются отходы для создания прочной дорожной поверхности. Для смешивания пластиковых отходов с битумом употребляются сухой и влажный процессы. Сухой процесс смешивания пластиковых отходов с битумной смесью является наиболее распространенным, проводится много исследований по его применению. В данной работе целью является исследование пластиковых отходов в качестве добавки для битумного бетона с использованием мокрого процесса смешивания. **Методика.** Технология настоящей работы была разработана в ходе комплексного исследования, в том числе изучающего состав битумной смеси Marshall. Данный компонент добавлялся к пластмассовым отходам. Модификация битума, полученная при использовании мокрого процесса смешивания, испытывалась на опытных образцах. Анализ результатов также представлялся в форме таблицы и рисунков. В настоящей работе для переработки битума используются полиэтиленовые отходы LDPE и HDPE. **Результаты.** Полученные результаты показывают, что добавление 6 % битума улучшает свойства смеси Marshall. Использование пластика для модификации битума не только делает дорожную поверхность более долговечной, но также является экологически чистым способом правильной утилизации пластиковых отходов. **Научная новизна.** Расширено представление о преимуществе использования пластиковых отходов в качестве компонентов битумного бетона при применении мокрого процесса смешивания. В то же время авторы подчеркивают, что в настоящей работе мокрый процесс смешивания еще не изучен в полном объеме. **Практическая значимость.** Практическое применение утилизации пластиковых отходов для модификации битума в битумной смеси повышает значения стабильности, что приводит к использованию более прочной дорожной поверхности. Кроме того, метод обеспечивает надлежащую утилизацию пластиковых отходов экологически безопасным способом.

Ключевые слова: пластиковые отходы; повторное использование отходов; дорожное строительство; асфальтобетон; мокрый процесс

REFERENCES

1. Amit, G., Zamare, G., Renge, V. C., Tayde S., & Bharsakale G. (2012). An overview on waste plastic utilization in asphaltting of roads. *Journal of Engineering Research and Studies*, 3(2), 1-5. (in English)
2. Bindu, C. S. & Beena, K. S. (2010). Waste plastic as a stabilizing additive in Stone Mastic Asphalt. *International Journal of Engineering and Technology*, 2(6), 379-387. (in English)
3. Das, A. & Chakroborty P. (2010). Principles of Transportation Engineering. Prentice Hall of India, New Delhi, 294-299. (in English)
4. Devesh, O. & Kumar, D. (2014). A Proposed Design of Flexible Pavement using Waste Plastic. *International Journal of Engineering and Management Research*, 4(5), 21-26. (in English)
5. Dixit, S. & Rastogi, D. (2013). Studies on the Improvement of Characteristics of Bitumen with Use of Waste Plastic. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(3), 895-900. (in English)
6. Guidelines for Co-processing of Plastic Waste in Cement Kilns (2017). Retrieved from http://www.cpcb.nic.in/wast/plasticwast/Co-processing_Guidelines_Final_23.05.17.pdf. (in English)
7. IS:2386-4. Methods of Test for Aggregates for Concrete. Part IV. Mechanical Properties. Retrieved from <https://archive.org/details/gov.in.is.2386.4.1963>. (in English)
8. IS:2386-1. Methods of Test for Aggregates for Concrete. Part I. Particle Size And Shape. Retrieved from <https://archive.org/details/gov.in.is.2386.1.1963>. (in English)
9. IS:1205-1978. Methods for testing tar and bituminous materials-Determination of Softening point. Retrieved from <http://civilblog.org/2013/05/12/softening-point-of-bitumen-is12051978/>. (in English)
10. IS:2386-3. (1963): Methods of test for aggregates for concrete, Part 3: Specific gravity, density, voids, absorption and bulking [CED 2: Cement and Concrete]. Retrieved from <https://archive.org/details/gov.in.is.2386.3.1963>. (in English)
11. IS:1208-1978. Indian standard methods for testing tar and bituminous materials (Determination of ductility). Retrieved from <http://civilblog.org/2013/05/12/ductility-value-of-bitumen-is1208-1978/>. (in English)
12. IS:1203-1978. Indian standard methods for testing tar and bituminous materials (Determination of penetration). Retrieved <http://civilblog.org/2013/05/12/penetration-value-of-bitumen-is1203-1978/>. (in English)
13. IS:1202-1978. Determination of specific gravity. Retrieved from <http://164.100.105.199:8071/php/BIS/IndStdndrLocatr/ISDetails.php?ID=MTgxMzA%3D>. (in English)
14. Modarres, A. & Hamed, H. (2014). Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes. *Materials&Design*, 61, 8-15. doi:10.1016/j.matdes.2014.04.046. (in English)
15. Mohammed, D. T. & Hussein Z. H. (2014). Evaluation of Pyrolysis PET Utilization in Asphalt Binder. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*, 3, 114-121. (in English)
16. Nemade, S. N. & Thorat, P. V. (2013). Utilization of Polymer Waste for Modification of Bitumen in Road Construction. *Scientific Reviews and Chemical Communications*, 2(3), 198-213. (in English)
17. Yeole, M. M. & Jagtap, V. A. (2014). Eco-Friendly Binder In Flexible Pavement. *International Journal of Research in Engineering & Technology*, 2(6), P. 45-50. (in English)

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

Received: July 31, 2017

Accessed: October 30, 2017

UDC 514.182O. S. DANYLOVA^{1*}, A. S. SHCHERBAK², A. V. KRASNIUK³

^{1*}Dep. «Graphics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 59, e-mail diit.geometry@gmail.com, ORCID 0000-0003-1375-0575

²Dep. «Graphics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 59, pro-f@ukr.net, ORCID 0000-0003-1340-0284

³Dep. «Graphics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 59, e-mail diit.geometry@gmail.com, ORCID 0000-0002-1400-9992

POINTS ON THE SPHERE SURFACE

Purpose. The extensive use of the computer-aided design system (CAD) in education and industry puts forward new demands on the scope, content and quality of up-to-date descriptive geometry course. The purpose of the work is topicality analysis of traditional descriptive geometry methods for 3D modelling and development of methodological recommendations for its teaching as a subject together with a selected CAD. **Methodology.** Conclusions about effectiveness and expedience of application of descriptive geometry methods are drawn on the basis of tools analysis and comparison of modern CADs and descriptive geometry for solving problems arising during 3D modelling. Generalization of teaching experience made it possible to give recommendations about optimization of the descriptive geometry course taking into account present-day requirements to professional skills of an engineer. **Findings.** CADs tools and descriptive geometry methods are compared by way of specific example to give the answer what is more suitable for solving problems arising during 3D modelling. **Originality.** We presented the methodological recommendations about optimization of descriptive geometry teaching together with a selected CAD. We proposed the conception of a modern textbook on descriptive geometry. First of all, the textbook must describe algorithms for solving problems by means of standard CAD tools exactly in 3D, not on the plane. It is desirable to accompany these algorithms by pictorial images in order to have an opportunity to grasp an idea quickly and implement it through methods of direct modeling in CAD application. We also touched practical problems of students' motivation to ensure high effectiveness of graphical education. **Practical value.** This paper may be useful mainly for educators in the field of engineering graphics because it raises a vital question 'Descriptive Geometry versus CAD' which now has no definite answer. Topicality and teaching approaches of different solution methods of spatial problems by means of projections is subject of a dispute, taking into account that CAD tools are continuously updated. This paper by way of specific example shows some advantages and limitations of descriptive geometry and CAD, as well as touches the issues of their efficient joint application for teaching.

Keywords: descriptive geometry; CAD; sphere; teaching methods; motivation

Introduction

The surface of a sphere is considered definite, if the position of its centre and the radius are known. The sphere is the surface of revolution. The sphere is also the surface of a full sphere. In computer-aided design systems, a three-dimensional model of a sphere can be constructed by rotating a semicircle around its diameter, i.e. by kinematic way of surface formation. In AutoCAD for construction, there is also a separate command [9], the initial data for which are the coordinates of the centre point of the sphere and the size of its radius – the analytical method.

Purpose

In some cases, there is a need to fit a sphere into the already existing geometry, i.e. to construct the sphere surface when the position of several points on its surface is known, while the centre and radius are unknown. As it is known, for the unambiguous definition of a sphere it is necessary to know the coordinates of at least four noncoplanar points lying on its surface. 3D modelling programs do not have built-in tools for such constructions, and textbooks on descriptive geometry (DG) describe only the kinematic and analytical way of determining the surface. The graphical specification of a second-order surface by points is not

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

a typical way of determining a surface, although it can occur when solving practical problems.

Methodology

As sphere is the geometric locus of points in space equidistant from a point called the sphere centre, then the solution of this problem consists in finding a point equidistant from the four given

values [2]. Thus, with 3D modelling, we come across a separate class of problems, when it is necessary to go from one set of input data (4 points on the sphere surface) to the other (sphere centre and radius). Such problems can be successfully solved by DG methods, and the construction algorithms are used in computer simulation.

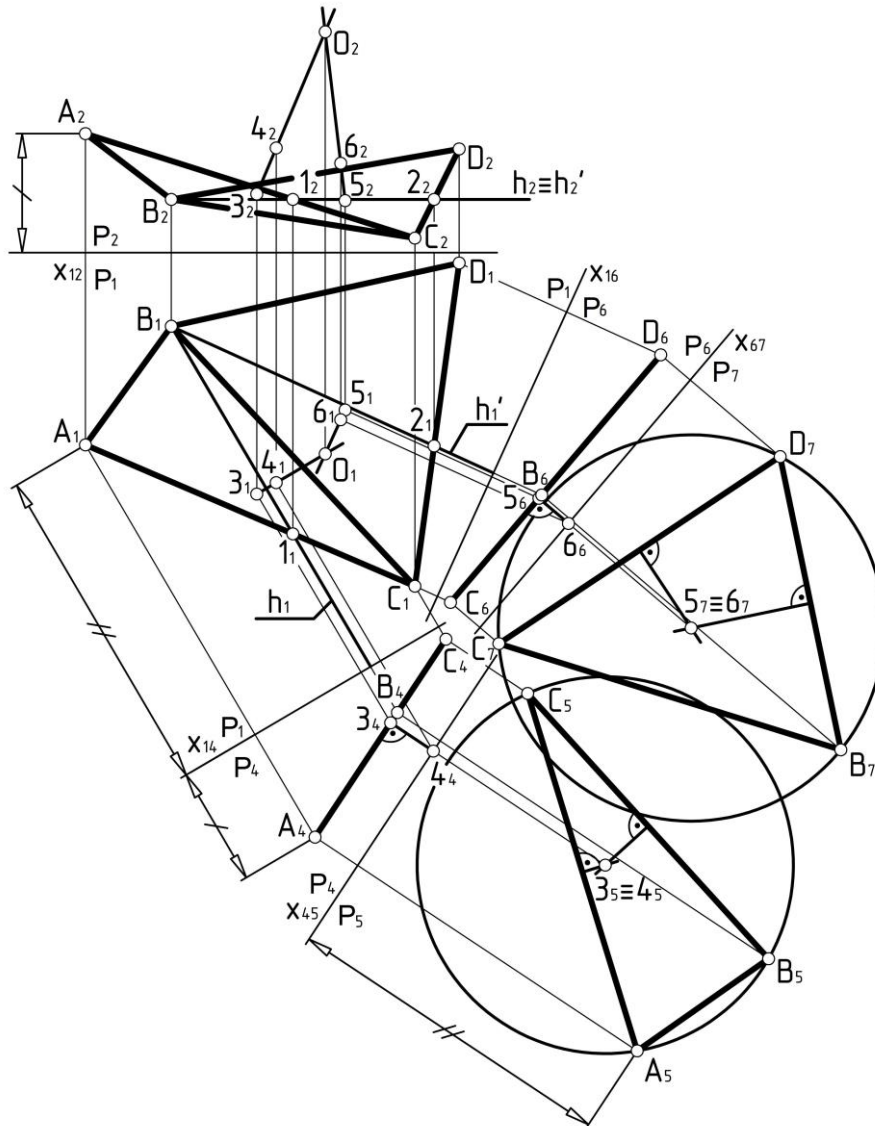


Fig. 1. Construction of sphere centre by 4 points (four replacements of projection planes)

Fig. 1 shows one of the possible graphical solutions of this problem using DG methods. There are given four points A, B, C, D in two projections. The found points O_1 and O_2 are the desired projections of the sphere centre. As you know, you can draw a circle through any three given points.

This circle can be regarded as a parallel of the desired sphere. Then the sphere centre will lie on the perpendicular reconstructed from the centre of the parallel. It is necessary to build two different parallels at given points and restore perpendiculars from

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

their centres. The intersection point of the perpendiculars will be the sphere centre.

On the plane, by using a double replacement of the projection planes, we found the natural value of each of the two planes formed by the given points. Then we constructed the sphere parallels, perpendiculars from their centres, and found the intersection point of these perpendiculars. From the point of view of DG, this method of solving the problem on the plane is not optimal, because there is another

one, which requires fewer graphic. However, this is a simple and understandable way to solve the problem straight forward.

Figures 2 and 3 show the second way of finding the desired sphere centre. We take any three points for belonging to a common parallel and find its centre. Using the fourth point, we construct another parallel and find the sphere centre. Since any of the given points can be taken as the fourth one, there are four possible solutions.

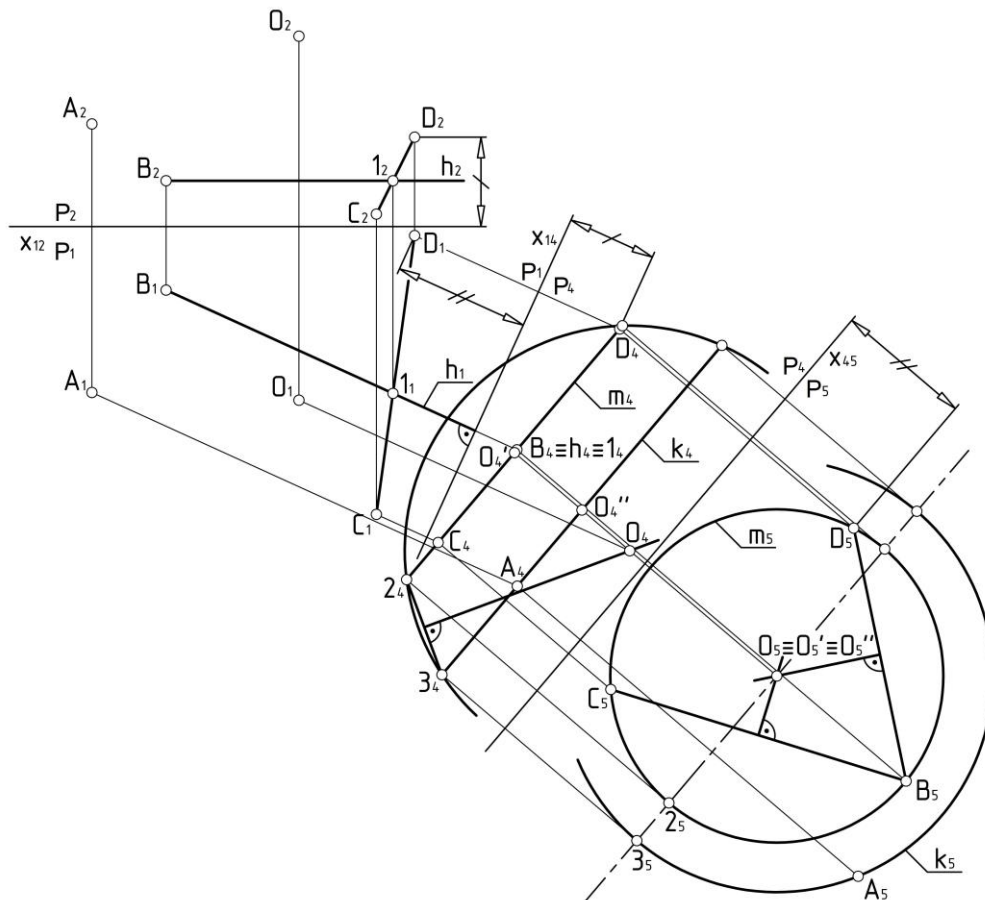


Fig. 2. Construction of sphere centre by 4 points (double replacement of projection planes)

To solve the problem, it is also necessary to replace the projection planes twice. We turn the points C, B and D into a plane, passing through them the intersecting lines CD and the horizontal h. We find the natural value of this plane and construct a circle around the three points C, B, D – projection of the parallel m_5 . Through the fourth point A, the projection of the second parallel k_5 is constructed. On plane P_5 both parallels are projected in the form of concentric circles, and on P_4 in the form of parallel segments of straight lines. The extreme points of the

projections of parallels 2 and 3 define a circle whose centre coincides with the sphere centre. Points 2 and 3 must be joined by a straight line segment. From the middle of this segment, we restore the perpendicular, which will pass through the sphere centre.

Some 3D modelling programs allow imposing parametric constraints and restrictions on geometric objects. With the help of such tools it is possible to simplify the solution of problems and in general to avoid additional constructions [12].

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

For example, in SolidWorks, to find the sphere centre in a three-dimensional sketch, you can select an arbitrary point and connect it to four specified points with straight line segments. Then you need to select all the lines and define the geometric «equality» relationship between them (Figure 4).

The program will automatically move an arbitrarily chosen point to such a position that all segments become the same length, i.e. it will find the sphere centre – a point equidistant from the four given values.

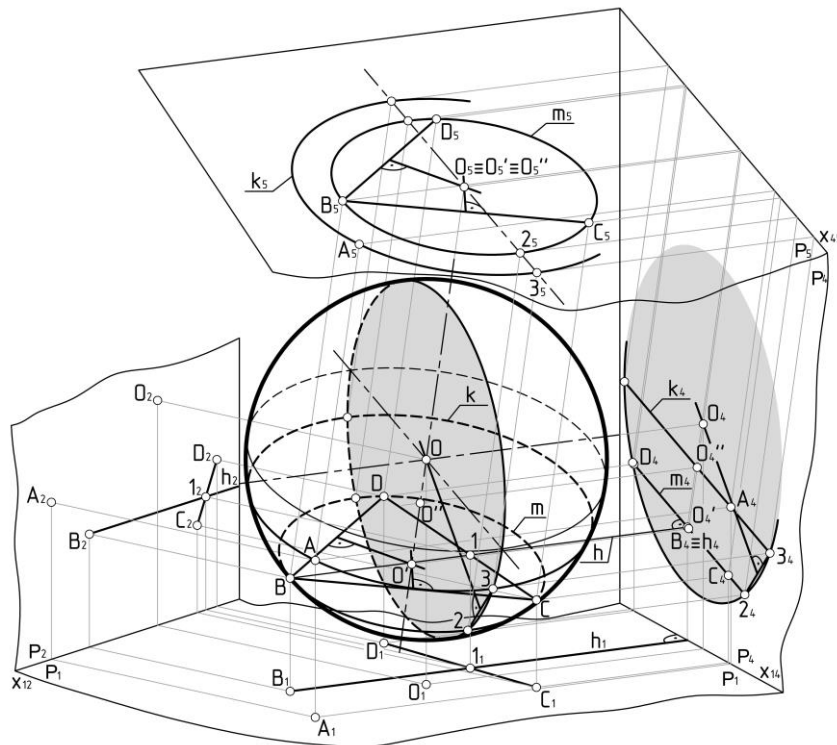


Fig. 3. Construction of sphere centre by 4 points (double replacement of projection planes), visual image

Next, we need to construct a plane through the centre and any two points, construct a semicircle in this plane and obtain the sphere by the rotation method.

This method cannot be used in AutoCAD and KOMPAS-3D. In KOMPAS-3D, parametric constraints can only be imposed on flat objects in a sketch, and in AutoCAD such geometric dependencies cannot be applied to objects lying in different planes.

Findings

Despite the fact that modern CAD systems are quite a powerful tool, they are not perfect, i.e. do not have tools «for all occasions». Moreover, the effectiveness of their use directly depends on the user's skills, including his geometrical-graphic training. The study of descriptive geometry is one of the most important stages of such training.

In addition to its main purpose of developing spatial thinking, descriptive geometry studies methods of solving the applied tasks. Many of these tasks can be solved by CAD, but one of the areas remaining relevant in DG so far is the solution of tasks that require a transition from one set of initial geometric data to another set of such data needed for modelling [17].

Originality and practical value

The extensive use of CAD in education and industry also puts forward new demands on the scope, content and quality of up-to-date descriptive geometry course. [1, 3, 4–8, 10, 13–16]. Now the user has the ability to solve spatial geometric problems in the virtual three-dimensional space of the program, which makes it possible to avoid cumbersome construction on the projection planes. Therefore, the ideal DG textbook should first of all give

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

algorithms for task solving using the typical CAD tools exactly in 3D, and not on a plane. It is desirable to accompany these algorithms by pictorial images in order to have an opportunity to

grasp an idea quickly and implement it in 3D. Complex constructions on the plane go to the background.

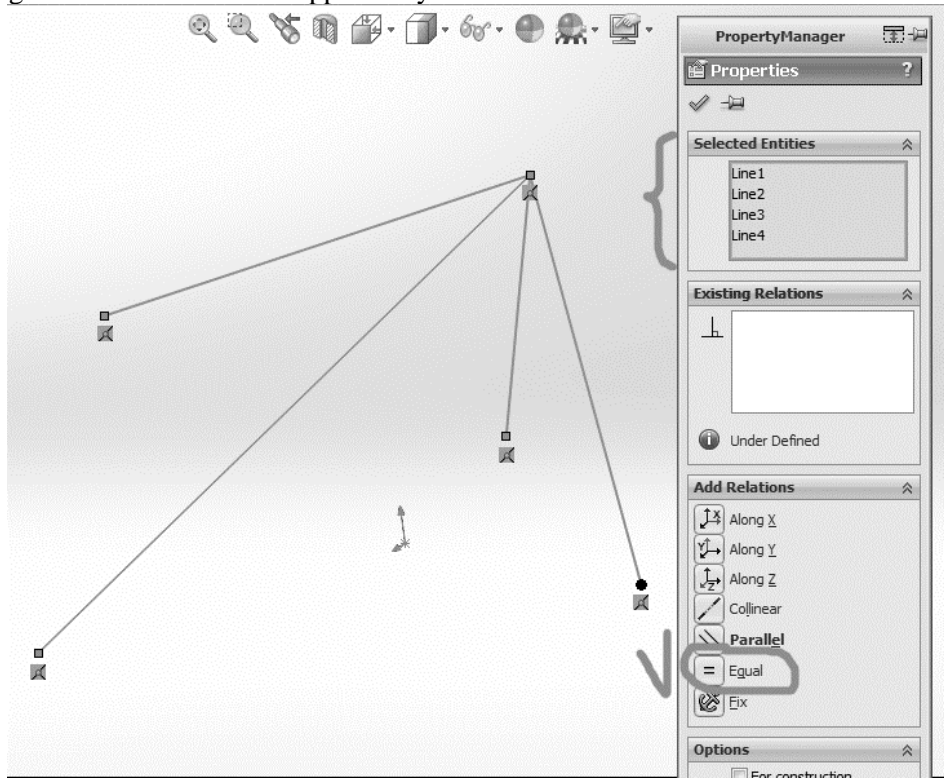


Fig. 4. Specifying the geometric «equality» relationship for straight line segments in SolidWorks

Conclusions

The solution of the problem in the three-dimensional space of the program is a natural process for a man. DG methods for solving spatial problems on a plane were developed when there was simply no other way to obtain a result. These methods are beautiful and elegant and often startle the imagination, but are they needed now, when the result can be achieved by pressing just a few buttons? Of course, we cannot and should not completely abandon the methods of classical DG: there are situations when they are still necessary. But the number of such tasks is getting smaller every year. Modern DG course should, first of all, include algorithms based on methods of direct modelling in 3D space, avoiding projection transformations.

As it is known, DG is considered by most students as a complex subject, for the study of which one needs certain motivation. Many students having acquainted with 3D modelling programs do

not understand what the meaning of studying DG is, «if everything can be built on a computer». Therefore, methodically it makes sense to divide a joint study of DG and engineering computer graphics into two stages.

The first stage: study of the basic capabilities of CAD. At this stage the proposed tasks do not require involvement of DG and are designed to teach a user to apply the main CAD tools. The task of this stage is to give the student a powerful tool and to teach him how to use it. The user should receive positive emotions from the fact that he can build 3D models and receive drawings using computer programs. It is very important that at this stage the student learns to achieve a positive result on his own.

The second stage: the tasks proposed for modelling to the student should require additional constructions, involvement of DG or analytical geometry. For example, such tasks may require a transition from a geometry task with one set of input data to another set that can be implemented

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

in the relevant CAD. The tasks should contain some of the tasks of DG, which is skillfully woven into the existing geometry. Herewith by the total volume of work and visually the models at this stage can be simpler than the previous ones. A situation is created when a user who knows how to use CAD cannot build a «simpler geometry» [11]. It is necessary to draw from the user an emotional state of excitement, which is characterized by a very strong interest in what is happening and

a persistent desire to continue. It is very important to give the student time to think independently before explaining the solution. Perhaps this is the most important point of learning. It makes sense to give clues that will indicate the desired direction of the solution search. The task of the teacher is to show the student DG place and possibilities for solving the problems that arise during 3D modelling.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Иванов, Г. С. Перспективы начертательной геометрии как учебной дисциплины / Г. С. Иванов // Геометрия и графика – 2013. – Т. 1, вып. 1 – С. 26–28. doi: 10.12737/467.
2. Лосев, Н. В. 200 олимпиадных задач по начертательной геометрии : практ. пособие / Н. В. Лосев. – Москва : Высш. шк., 1992. – 144 с.
3. Междисциплинарные связи начертательной геометрии и смежных разделов высшей математики / И. М. Дмитриева, Г. С. Иванов, В. И. Серегин, К. А. Муравьев // Геометрия и графика. – 2013. – Т. 1, вып. 3. – С. 8–12. doi: 10.12737/2124.
4. Сальков, Н. А. Геометрическое моделирование и начертательная геометрия / Н. А. Сальков // Геометрия и графика. – 2016. – Т. 4, вып. 4. – С. 31–40. doi: 10.12737/22841.
5. Сальков, Н. А. Место начертательной геометрии в системе геометрического образования технических вузов / Н. А. Сальков // Геометрия и графика. – 2016. – Т. 4, вып. 3. – С. 53–61. doi: 10.12737/21534.
6. Сальков, Н. А. Начертательная геометрия — база для компьютерной графики / Н. А. Сальков // Геометрия и графика. – 2016. – Т. 4, вып. 2. – С. 37–47. doi: 10.12737/19832.
7. Хейфец, А. Л. Начертательная геометрия как «бег в мешках» / А. Л. Хейфец // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом ВУЗе: традиции и инновации : материалы V Междунар. науч.-практ. интернет-конф. – Пермь, 2015. – Т. 1. – С. 298–325.
8. Хейфец, А. Л. Реорганизация курса начертательной геометрии как актуальная задача развития кафедр графики / А. Л. Хейфец // Геометрия и графика. – 2013. – Т. 1, вып. 2. – С. 21–23. doi: 10.12737/781.
9. Autodesk AutoCAD Help [Electronic resource]. – Available at: <http://help.autodesk.com/view/ACD/2016/ENU/>. – Title from screen. – Accessed : 02.10.2017.
10. Bokan, N. Computer-Aided Teaching of Descriptive Geometry / N. Bokan, M. Ljucovic, S. Vukmirovic // Journal for Geometry and Graphics. – 2009. – Vol. 13, No. 2. – P. 221–229.
11. Danilov, E. Descriptive Geometry for CAD Users: Ribs Construction / E. Danilov // Journal for Geometry and Graphics. – 2014. – Vol. 18, No. 1. – P. 115–124.
12. SolidWorks Web Help [Electronic resource]. – Available at: <http://help.solidworks.com/>. – Title from screen. – Accessed : 02.10.2017.
13. Suzuki, K. Application of descriptive geometry procedures in solving spatial problems with feature and parametric modelling 3D-CAD / K. Suzuki, H-P. Schroecker // Proc. of the 13th ICGG. – Dresden, Germany, 2008. – Vol. II. – P. 1–8.
14. Suzuki, K. Introduction to 3D-CAD/CG – Learning geometry and graphics through Inventor and 3ds Max. – 2nd ed. [in Japanese] / K. Suzuki, Y. Yokoyama, T. Kanai. – Tokyo, Japan, 2012.
15. Suzuki, K. Significance of traditional geometry in teaching and learning graphic science / K. Suzuki // CADDM: computer aided drafting, design and manufacturing. – 2013. – Vol. 23/3. – P. 49–55.
16. Suzuki, K. Traditional Descriptive Geometry Education in the 3D-CAD/CG Era / K. Suzuki // Journal for Geometry and Graphics. – 2014. – Vol. 18, No. 2. – P. 249–258.
17. Zsombor-Murray, P. A Cylinder of Revolution on Five Points / P. Zsombor-Murray, S. El Fashny // Journal for Geometry and Graphics. – 2006. – Vol. 10, No. 2. – P. 207–213.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

О. С. ДАНИЛОВА^{1*}, А. С. ЩЕРБАК², А. В. КРАСНЮК³

^{1*}Каф. «Графіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 59, ел. пошта diit.geometry@gmail.com, ORCID 0000-0003-1375-0575

²Каф. «Графіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 59, ел. пошта pro-f@ukr.net, ORCID 0000-0003-1340-0284

³Каф. «Графіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 59, ел. пошта diit.geometry@gmail.com, ORCID 0000-0002-1400-9992

ТОЧКИ НА ПОВЕРХНІ СФЕРИ

Мета. Широке застосування системи автоматизованого проектування (САПР) в навчальному процесі та на виробництві висуває нові вимоги до об'єму, змісту й якості викладання сучасного курсу нарисної геометрії. Метою роботи є аналіз актуальності методів класичної нарисної геометрії для задач геометричного моделювання та розробка методичних рекомендацій її викладання як навчальної дисципліни спільно з обраною САПР. **Методика.** Висновки про ефективність та доцільність використання методів нарисної геометрії зроблені на основі аналізу й порівняння можливостей сучасних САПР та нарисної геометрії для вирішення питань, які виникають у процесі тривимірного моделювання. Узагальнення досвіду викладання графічних дисциплін дозволило дати рекомендації щодо оптимізації викладання курсу нарисної геометрії з урахуванням сучасних вимог до кваліфікації інженера. **Результати.** На конкретному прикладі проведено порівняння можливостей САПР та методів нарисної геометрії для вирішення проблем, які виникають при геометричному моделюванні. **Наукова новизна.** Надані методичні рекомендації відносно організації та оптимізації викладання курсу нарисної геометрії спільно з обраною САПР. Запропонована концепція сучасного підручника з нарисної геометрії, який, перш за все, повинен давати алгоритми для вирішення задач типовими інструментами САПР саме в 3D, а не на площині. Бажано, щоб ці алгоритми супроводжувалися наочними зображеннями, які б дозволяли швидко вловити ідею та реалізувати її методами прямого моделювання у середовищі програми тривимірного моделювання. Розглянуті практичні питання мотивації студентів при вивченні нарисної геометрії. **Практична значимість.** Дана робота, насамперед, буде цікава викладачам графічних дисциплін, так як порушує актуальне питання «нарисна геометрія проти САПР», на яке зараз немає однозначної відповіді. Актуальність та спосіб викладання тих або інших методів вирішення просторових задач за допомогою проекції на площині, при постійно зростаючих можливостях прямого 3D моделювання засобами САПР, є предметом обговорення та суперечок. Дана робота на прикладі демонструє можливості й обмеження нарисної геометрії та САПР, а також торкається питань ефективності їх спільного викладання.

Ключові слова: нарисна геометрія; САПР; сфера; методика викладання; мотивація

О. С. ДАНИЛОВА^{1*}, А. С. ЩЕРБАК², А. В. КРАСНЮК³

^{1*}Каф. «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 59, эл. почта diit.geometry@gmail.com, ORCID 0000-0003-1375-0575

²Каф. «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 59, эл. почта pro-f@ukr.net, ORCID 0000-0003-1340-0284

³Каф. «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 59, эл. почта diit.geometry@gmail.com, ORCID 0000-0002-1400-9992

ТОЧКИ НА ПОВЕРХНОСТИ СФЕРЫ

Цель. Широкое использование системы автоматизированного проектирования (САПР) в учебном процессе и на производстве выдвигает новые требования к объему, содержанию и качеству преподавания современного курса начертательной геометрии. Целью работы является анализ актуальности методов классической начертательной геометрии для задач геометрического моделирования и разработка методических

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

рекомендацій її преподавання як учебної дисципліни совместно с вибраною САПР. **Методика.** Выводы об эффективности и целесообразности применения методов начертательной геометрии сделаны на основе анализа, сравнения возможностей современных САПР и начертательной геометрии для решения вопросов, возникающих в процессе трехмерного моделирования. Обобщение опыта преподавания графических дисциплин позволило дать рекомендации по оптимизации преподавания курса начертательной геометрии с учетом современных требований к квалификации инженера. **Результаты.** На конкретном примере проведено сравнение возможностей САПР и методов начертательной геометрии для решения проблем, возникающих при геометрическом моделировании. **Научная новизна.** Даны методические рекомендации относительно организации и оптимизации преподавания курса начертательной геометрии совместно с выбранной САПР. Предложена концепция современного учебника по начертательной геометрии, который, прежде всего, должен давать алгоритмы для решения задачи типовыми инструментами САПР именно в 3D, а не на плоскости. Желательно, чтобы эти алгоритмы сопровождалась наглядными изображениями, позволяющими быстро уловить идею и реализовать её методами прямого моделирования в среде программы трехмерного моделирования. Затронуты практические вопросы мотивации студентов при изучении начертательной геометрии. **Практическая значимость.** Данная работа, прежде всего, будет интересна преподавателям графических дисциплин, т. к. поднимает актуальный вопрос «начертательная геометрия против САПР», на который сейчас нет однозначного ответа. Актуальность и способ преподавания тех или иных методов решения пространственных задач с помощью проекций на плоскости, при постоянно растущих возможностях прямого 3D моделирования средствами САПР, является предметом обсуждения и споров. Данная работа на примере показывает возможности и ограничения начертательной геометрии и САПР, а также касается вопросов эффективности их совместного преподавания.

Ключевые слова: начертательная геометрия; САПР; сфера; методика преподавания; мотивация

REFERENCES

- Ivanov, G. (2013). Descriptive geometry prospects as educational subject. *Geometry & Graphics*, 1(1), 26-28. doi: 10.12737/467. (in Russian)
- Losev, N. V. (1992). *200 olimpiadnykh zadach po nachertatelnoy geometrii: prakticheskoye posobiye*. Moscow: Vysshaya shkola. (in Russian)
- Dmitrieva, I., Ivanov, G., Seregin, V., & Muravev, K. (2013). Interdisciplinary connections of descriptive geometry and related sections of higher mathematics. *Geometry & Graphics*, 1(3), 8-12. doi: 10.12737/2124. (in Russian)
- Sal'kov, N. (2016). Geometric Simulation and Descriptive Geometry. *Geometry & Graphics*, 4(4), 31-40. doi: 10.12737/22841. (in Russian)
- Salkov, N. (2016). Place of Descriptive Geometry in the System of Geometric Education of Technical Universities. *Geometry & Graphics*, 4(3), 53-61. doi: 10.12737/21534. (in Russian)
- Sal'kov, N. (2016). Descriptive Geometry – the Base of Computer Graphics. *Geometry & Graphics*, 4(2), 37-47. doi: 10.12737/19832. (in Russian)
- Kheyfets, A. L. (2015). Nachertatelnaya geometriya kak «beg v meshkakh». Problemy kachestva graficheskoy podgotovki studentov v tekhnicheskoy VUZe: traditsii i innovatsii. *Proceedings of the Vth International Scientific and Practical Internet Conference. Perm, 1*, 298-325. (in Russian)
- Kheyfets, A. (2013). Descriptive geometry course reorganization as the actual task of graphics chairs development. *Geometry & Graphics*, 1(2), 21-23. doi: 10.12737/781. (in Russian)
- Autodesk AutoCAD Help (2016). Retrieved from: <http://help.autodesk.com/view/ACD/2016/ENU/>. (in English)
- Bokan, N., Ljucovic, M., & Vukmirovic, S. (2009). Computer-Aided Teaching of Descriptive Geometry. *Journal for Geometry and Graphics*, 13(2), 221-229. (in English)
- Danilov, E. (2014). Descriptive Geometry for CAD Users: Ribs Construction. *Journal for Geometry and Graphics*, 18(1), 115-124. (in English)
- SolidWorks Web Help. Retrieved from: <http://help.solidworks.com/>. (in English)
- Suzuki, K., & Schroecker, H-P (2008). Application of descriptive geometry procedures in solving spatial problems with feature and parametric modelling 3D-CAD. *Proceedings of the 13th International Conference on Geometry and Graphics (ICGG). Dresden, August 4-10, 2008, Germany, II*, 1-8. (in English)
- Suzuki, K., Yokoyama, Y., & Kanai T. (2012). Introduction to 3D-CAD/CG – Learning geometry and graphics through Inventor and 3ds Max-2nd edition. [M]. Saiensu, Tokyo, Japan. (in Japanese)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

15. Suzuki, K. Significance of traditional geometry in teaching and learning graphic science (2013). *CADDM: Computer Aided Drafting, Design and Manufacturing*, 23/3, 49-55. (in English)
16. Suzuki, K. (2014). Traditional Descriptive Geometry Education in the 3D-CAD/CG Era. *Journal for Geometry and Graphics*, 18(2), 249-258. (in English)
17. Zsombor-Murray, P., & S. El Fashny (2006). A Cylinder of Revolution on Five Points. *Journal for Geometry and Graphics*, 10(2), 207-213. (in English)

Prof. V. D. Petrenko, Dr. Sc. (Techn.) (Ukraine); Prof. S. S. Tyshchenko, Dr. Sc. (Techn.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Aug. 01, 2017

Accessed: Nov. 03, 2017

УДК 624.014:[658.589:355.415]

С. В. МЯМЛІН¹, Ю. В. КЕБАЛ², О. П. СЕВЕРИН³, С. О. ЯКОВЛЄВ^{4*}, О. І. ШАПТАЛА⁵

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

²ПКТБ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, ел. пошта pktb.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-1788-3076

³Каф. «Військова підготовка фахівців Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, ел. пошта severinlist@gmail.com, ORCID 0000-0001-9967-4731

^{4*}Каф. «Військова підготовка фахівців Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, ел. пошта weis23649@gmail.com, ORCID 0000-0002-6431-4303

⁵Каф. «Військова підготовка фахівців Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, ел. пошта Shaptala100@meta.com, ORCID 0000-0003-1675-1450

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ТИЛОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬК

Мета. Всебічне та постійне тилове забезпечення військ вважається одним із основних факторів успішного ведення бойових дій будь-якою державою. Зміни геополітичної та воєнно-стратегічної ситуації в Європі спричинили зміни у збройних силах держав, у тому числі й у тиловому забезпеченні, що обумовлює необхідність пошуку нових, більш ефективних шляхів вирішення завдань тилового забезпечення під час сучасного бою. Це актуально сьогодні й для Збройних Сил України. Тому метою роботи є розгляд (з точки зору втілення в практику) інновацій у тиловому забезпеченні силових структур держави, які постають у вигляді нового, вдосконаленого продукту: модульних комплексів, що включають в себе різні блок-контейнери (кухня-їдальня, духова, пральня, блок-пост, амбулаторія та інші). Вони різко змінять у майбутньому якість побуту військовослужбовців під час виконання бойових завдань у зонах надзвичайних ситуацій та при участі у збройних конфліктах. **Методика.** В основу методики покладені суттєві заходи щодо вдосконалення системи тилового забезпечення в найближчому майбутньому. Вони полягають у реорганізації існуючої системи тилового забезпечення Збройних Сил та створенні модульних структур, які легко адаптуються та призначаються надалі для виконання конкретних завдань. **Результати.** Авторами пропонується комплект конструкторської документації на блок-контейнер польових пральні та душової. Також розробляються технологічні модулі бойового (блок-пост), тилового (кухня-їдальня), медичного (пересувна амбулаторія) значення та інші. **Наукова новизна.** Однією з особливостей реформ, які проводяться в Збройних Силах України, є їх наукове обґрунтування. Для теоретичного забезпечення, розробки й обґрунтування перспективних ідей щодо поліпшення життєзабезпечення військовослужбовців при тривалому розміщенні в польових умовах вперше пропонується використання блок-контейнерів – мобільних багатофункціональних приміщень. **Практична значимість.** Враховуючи, що військово-політичне керівництво України розглядає тилове забезпечення військ як одну із складових всебічного забезпечення збройних сил у мирний та воєнний час, використання запропонованих ідей із поліпшення побуту військ дозволить сформувати новий вигляд системи матеріально-технічного забезпечення Збройних Сил України.

Ключові слова: інновація; тил; побут; умови забезпечення; польові умови

Вступ

Вироблена бойовою практикою система тилового забезпечення зберігає своє значення й в сучасних умовах. Але при цьому не можна не враховувати і ряд нових вимог, які

пред'являються до тилу, що впливають з характеру сучасного бою [1, 4, 13].

«Тилове забезпечення» – банно-пральне, медичне, продовольче забезпечення військово-службовців та ін.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Побут військовослужбовців під час виконання бойових завдань у зонах надзвичайних ситуацій та за участю в збройних конфліктах є одним їх найбільш актуальних питань в концепції розвитку сучасних збройних сил [8, 9, 16].

Тому істотно ускладнюється система матеріального, банно-прального, медичного, продовольчого забезпечення військ. Хоча технічна оснащеність і мобільність військового тилу багаторазово зросли в порівнянні з другою світовою війною, але одночасно в десятки разів збільшилася витрата матеріальних засобів.

Аналіз роботи тилових органів в анти-терористичних операціях переконав нас у тому, що при тривалому розміщенні військовослужбовців у польових умовах жит-тезабезпечення їх було організовано на недостатньому рівні або було зовсім відсутнє [2, 5, 6, 14, 15, 17, 18, 19]. Наявні в Збройних Силах техніка й обладнання для польових умов фізично і морально застаріли і не відповідають сучасним вимогам. Положення ускладнюється ще й відсутністю достатньої кількості джерел питної води, через що виникають труднощі із забезпеченням водою для приготування їжі, санітарно-побутових потреб.

Вихід з ладу техніки тилу відбувається переважно через технічні несправності і значно рідше – від бойових пошкоджень. Це обумовлено тим, що техніка тилу нерідко зберігалася з порушенням умов. Заходів з ремонту та модернізації застарілої техніки недостатньо, потрібно застосовувати принципово нові підходи. Саме тому сьогодні у військах більше увага приділяється щодо організації побуту військово-службовців. Для цього тилі служби окремо закуповують техніку та майно від різних постачальників в різних містах країни: намети, лазні, кухні і т. д., які надходять, як правило, нерівно-мірно, різними лотами. А в польових умовах їх доведеться збирати в єдину структуру, при цьому виникають проблеми сумісного монтажу.

Дослідженням військово-польового побуту займалися вчені-історики багатьох країн, в т. ч. СНД і України. Наприклад, такі як Е.С. Сенявська, М.А. Ємельно-Луцьянчиков і багато інших [10–12, 16].

Сьогодні створюються принципово нові технології обслуговування військовослужбовців,

працівників силових структур та рятувальних загонів у зонах надзвичайних ситуацій та збройних конфліктів, що забезпечить у майбутньому технологічне оновлення збройних сил і рятувальних загонів на сучасному рівні.

Звісно ж, що сьогодні мова повинна йти про систему забезпечення повсякденної життєдіяльності військ.

Події на сході країни стали серйозними випробуванням для всієї військової організації нашої держави, у тому числі і для тилу Збройних Сил, оскільки в бойових умовах проходить перевірку на дієздатність і ефективність вся система тилового забезпечення.

Мета

Зміни геополітичної та воєнно-стратегічної ситуації в Європі спричинили і зміни у збройних силах держав, у тому числі й в їх тиловому забезпеченні. Що обумовлює необхідність пошуку нових, більш ефективних шляхів вирішення таких завдань сучасного бою. Це актуально сьогодні й для Збройних Сил України. Тому метою роботи є розгляд і втілення в практику інновацій у тиловому забезпеченні силових структур держави, тобто поставки нового, вдосконаленого продукту – модульних комплексів, що включають в себе різні блок-контейнери (кухню-їдальню, душову, пральню, блок-пости, амбулаторію та інші), які різко змінять у майбутньому якість побуту військовослужбовців під час виконання бойових завдань у зонах надзвичайних ситуацій та при участі у збройних конфліктах [2, 4, 6, 11].

Необхідність у розробці інноваційних технологій для обслуговування військово-службовців, рятувальних загонів у районах виконання завдань, а також вахтовим працівникам (нафтовикам, газовикам), виникла з метою створення сучасного вітчизняного зразка мобільного багатофункціонального комплексу для потреб ЗС, МВС та Державної Служби України з НС та інших силових структур. Це обумовило використання новітніх технологій (зварювання), а також матеріалів, що стане основою для посилення матеріально-технічного забезпечення тилових структур, забезпечить зниження «імпортозалежності» економіки України в придбанні подібних комплексів за кордоном [7, 11, 19].

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Методика

В основі методики закладені головні заходи щодо вдосконалення системи тилового забезпечення в найближчому майбутньому, які полягають у тому числі в реорганізації існуючої системи тилового забезпечення та створення модульних структур новітніх сил, які будуть легко адаптуватися і призначаються надалі для виконання конкретних завдань.

Результати

Фахівцями Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна розроблено конструкторську документацію для мобільних систем тилового, технічного, медичного, інженерного, адміністративного забезпечення, що складаються з багатофункціональних технологічних модулів. Дані модулі призначені для оперативного розгортання під час виконання поставлених завдань силовими структурами, службами МНС і вахтовими робітниками у віддалених від місця основної дислокації місцях, а також – з можливим використанням їх для розміщення караулів, які супроводжують зазвичай вантажі.

Автономний модуль – це мобільне багатофункціональне приміщення. Він являє собою каркасну сталеву конструкцію, яка дозволяє переміщати її за допомогою крана. Зовні контейнер обшивається металом, зсередини оброблюється залежно від його призначення. Такі конструкції виконані в розмірі не 20-ти футового контейнера, як зазвичай, а розмір їх в ширину не перевищує 2,4 м, у довжину 7,5 м, що обумовлено зручністю їх транспортування автомобільним транспортом (наприклад, транспорт виробництва автозаводу КрАЗ), залізничним транспортом (платформа для перевезення контейнерів).

До основних переваг автономних мобільних модулів (у порівнянні з найближчими аналогами) належать:

- габаритні розміри модуля, що уніфіковані з 20-ти футовими контейнерами, що дозволяє виробляти їх транспортування з використанням усіх видів транспорту без додаткових вимог і пристроїв;

- застосування сучасних теплоізоляційних матеріалів, які дозволяють використовувати модуль в будь-яких кліматичних і погодних

- умовах; також можливо дообладнання їх установками кондиціонування повітря; конструкція автономних мобільних модулів дозволяє їм зберігати працездатність у температурному діапазоні від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- ергономічність конструкції модуля досягається за рахунок максимального врахування фізичних параметрів особового складу і можливостей обладнання, яке застосовується;

- екологічність модуля забезпечується за рахунок використання замкнутих контурів і систем утилізації;

- простота конструкції поєднується з необхідною міцністю, що дозволяє забезпечити оптимальну масу модуля в екіпірованому стані;

- можливість розміщення автономного модуля в окопах глибиною до 5 метрів;

- опціонально доступна вбудована система навантаження, вивантаження дозволяє проводити операції з монтажу і демонтажу модуля без застосування додаткових механізмів (рис. 1);

- можливість установки і демонтажу дизельного генератора, що забезпечує модуль електроенергією, за допомогою передбаченого крана-балки;

- електроживлення може здійснюватися як від дизельного генератора, так і від централізованої електромережі;

- комплектація і розміщення внутрішнього обладнання можуть бути відкориговані відповідно до додаткових вимог.

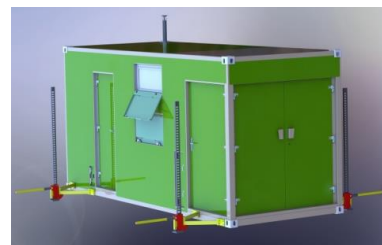


Рис. 1. Система навантаження-розвантаження автономних мобільних модулів

Fig. 1. Load-unloading system of autonomous mobile modules

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Автономний мобільний модуль «кухня-їдальня» (рис. 2) теж призначений для приготування і організації повноцінного гарячого харчування особового складу в польових умовах з 6 посадочними місцями.

Базова комплектація даного автономного мобільного модуля включає в себе: піч, варильну поверхню з витяжкою, холодильну і моро-

зильну камери, шафи і стелажі для зберігання кухонного приладдя, раковину (з можливістю підключення до зовнішнього джерела води), шість місць обладнаних для прийому їжі, бак з запасом води, бойлер, опалювальне, енергозабезпечувальне, вентиляційне та каналізаційне обладнання.



Рис. 2. Автономний мобільний модуль «кухня-їдальня»

Fig. 2. Self-unit mobile module «kitchen-dining room»

Автономний мобільний модуль «кухня» (рис. 3) призначений для забезпечення повноцінним гарячим харчуванням особового складу в польових умовах.

Базова комплектація включає в себе: піч, варильну поверхню з витяжкою, холодильну й морозильну камери, шафи і стелажі для зберігання кухонного приладдя, раковину (з можливістю підключення до зовнішнього джерела води), бак із запасом води, бойлер, опалювальне, енергозабезпечувальне, вентиляційне, каналізаційне обладнання.



Рис. 3. Автономний мобільний модуль «кухня»

Fig. 3. Self-unit mobile module «kitchen»

Автономний мобільний модуль «лазня» (рис. 4) призначений для миття особового складу, що знаходиться далеко від стаціонарних баз, у польових умовах. Базова комплектація включає в себе: два спальних місця, опалення, бойлер із продуктивністю 300 л гарячої води за годину, вентиляцію; запас води лазні становить 1 500 л, що дозволяє їй бути повністю незалежною від зовнішніх джерел.

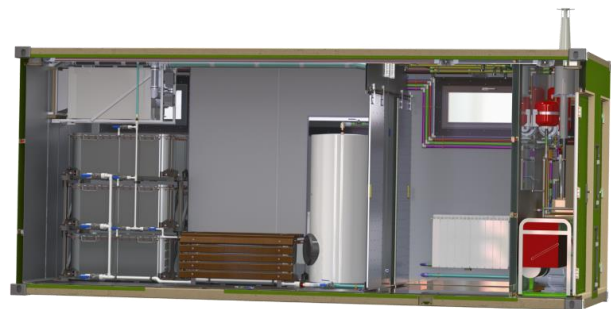


Рис. 4. Автономний мобільний модуль «лазня»

Fig. 4. Self-unit mobile module «bath»

Крім того, конструкція автономного модуля «лазня», на відміну від аналогів, дозволяє їй бути не тільки енерго-, а й водонезалежною.

Автономний мобільний модуль «пральня» (рис. 5) призначений для прання речей особового складу.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

вого складу, що знаходяться далеко від стаціонарних баз в польових умовах.

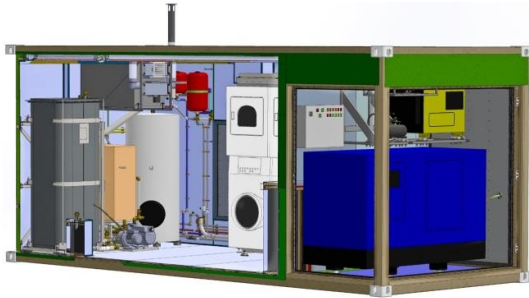


Рис. 5. Автономний мобільний модуль «пральня»

Fig. 5. Self-unit mobile module «laundry»

Базова комплектація включає в себе: два спальних місця, опалення, бойлер продуктивністю 300 л гарячої води за годину, вентиляцію, три сушильних і три пральних машини. Крім того, запас води пральні становить 750 л, що дозволяє їй бути повністю незалежною від зовнішніх джерел.

Автономний мобільний модуль «пекарня» (рис. 6) призначений для приготування хлібобулочних виробів в необхідному асортименті для особового складу в польових умовах.

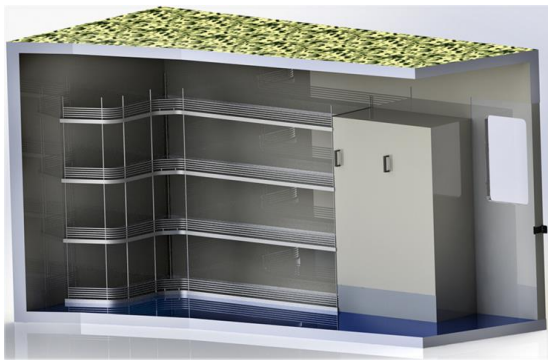


Рис. 6. Автономний мобільний модуль «пекарня»

Fig. 6. Self-unit mobile module «bakery»

Базова комплектація включає в себе: міксер для замішування тіста, тістоподільник, піч, шафи для зберігання інгредієнтів і додаткового кухонного обладнання, раковину (з можливістю підключення до зовнішнього джерела води), бак з запасом води, бойлер, опалювальне, енергозабезпечувальне, вентиляційне, каналізаційне обладнання в одному комплекті.

Автономний мобільний модуль «блок-пост» (рис. 7) призначений для життєзабезпечення особового складу в польових умовах.

Базова комплектація включає в себе: шість спальних місць, душову кабінку, варильну поверхню з витяжкою, холодильник, шафи, пральну машину, стіл обідній розкладний, бойлер, опалювальне, енергозабезпечувальне, вентиляційне, каналізаційне обладнання.



Рис. 7. Автономний мобільний модуль «блок-пост»

Fig. 7. Self-unit mobile module «block post»

Автономний мобільний модуль санітарної обробки особового складу (рис. 8) призначений для повної санітарної обробки особового складу (гігієнічне миття з дезінфекцією обмундирування) у польових умовах.

Базова комплектація включає в себе: душову прилад (система розподілу води і дезінфікуючих рідин), систему зливу використаної води, комплект меблів, опалювальне, енергозабезпечувальне, вентиляційне обладнання.

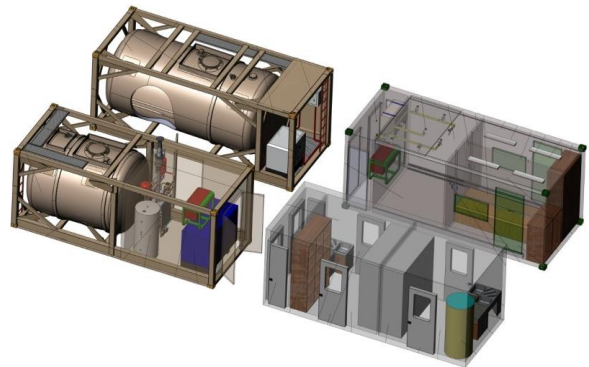


Рис. 8. Автономний дезінфекційний комплекс

Fig. 8. Autonomous disinfection complex

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Автономний модуль «командний пункт» (рис. 9) призначений для розміщення групи оперативного управління (командного складу) і обслуговуючого персоналу. Він передбачає, створення умов для роботи в польових умовах, організації рухливих командних пунктів, штабів і пунктів управління силами і засобами. Розрахований на кількість персоналу – 4 чол. Може застосовуватися для автоматизованого збору, обробки і відображення даних і передачі узагальненої інформації про обстановку на командні пункти вищої ланки.

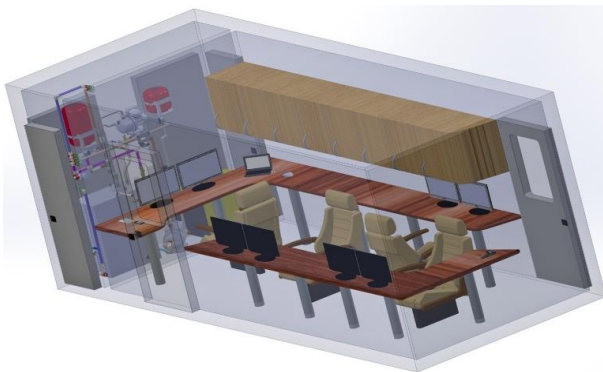


Рис. 9. Автономний модуль «командний пункт»

Fig. 9. Self-unit mobile module «command post»

Наукова новизна та практична значимість

Однією з особливостей реформ, які проводяться у Збройних Силах України, є їх наукове обґрунтування [8, 9, 10]. Для теоретичного забезпечення, розробки і обґрунтування перспективних ідей щодо поліпшення життєзабезпечення військовослужбовців при тривалому розміщенні їх у польових умовах вперше пропонується використання блок-контейнерів – мобільних багатофункціональних приміщень. Враховуючи, що військово-політичне керівництво України розглядає тилове забезпечення військ як одну із складових всебічного забезпечення збройних сил у мирний і воєнний час, використання запропонованих ідей з поліпшення побуту військ дозволить запропонувати новий вигляд системи матеріально-технічного забезпечення Збройних Сил України.

Автономний модуль «амбулаторія» (рис. 10) допомагає підтримувати на належному рівні якість медичної допомоги (проводити амбулаторний прийом хворих, здійснювати прийом аналізів, надавати першу медичну допомогу) особовому складу в бойовій обстановці, надзвичайній ситуації, а також при виконанні інших завдань, пов'язаних з розміщенням особового складу в польових умовах. Розрахований на кількість медичного персоналу – 5 чол., кількість пацієнтів – 5 чол. Включає дизель-генератор потужністю 6,5 кВт.

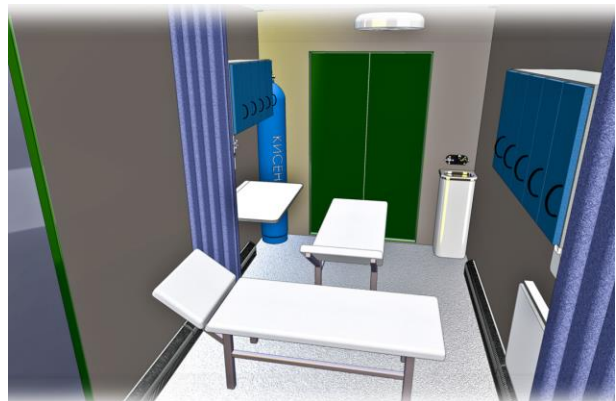


Рис. 10. Автономний модуль «амбулаторія»

Fig. 10. Self-unit module-ambulatory

Висновки

При проведенні військової реформи найважливішими питаннями її змісту є проблеми всебічного забезпечення військ та шляхи їх вирішення [3, 10, 16, 19]. Серед них тиловому і технічному забезпеченню військ завжди відводиться особливе місце і роль. Тому налагодження побуту військовослужбовців і працівників силових служб під час виконання бойових завдань, у зонах надзвичайних ситуацій, шляхом створення і подальшого вдосконалення мобільного багатофункціонального модуля призведе до реорганізації тилового забезпечення не тільки Збройних Сил, а й інших силових структур у напрямку підвищення мобільності, можливості функціонування незалежно від погодних умов, пори року і на будь-якій місцевості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ващинин, И. А. Война XXI века / И. А. Ващинин // Зарубежное военное обозрение. – 1998. – № 5. – С. 2–7.
2. Дурнев, Р. А. Методический аппарат обоснования рациональной технологии развертывания временных городков для размещения населения, пострадавшего от аварий, катастроф и стихийных бедствий / Р. А. Дурнев, А. В. Трофимов, А. А. Насобин // Технологии гражданской безопасности. – 2010. – Т. 7, № 4. – С. 26–35.
3. Инюхин, М. Развитие тылового обеспечения Вооружённых сил Великобритании / М. Инюхин, Н. Резяпов // Зарубежное военное обозрение. – 2013. – № 5. – С. 19–27.
4. Левченко, Ф. М. Аналіз досвіду застосування мобільних медичних формувань у країнах-членах НАТО, Російській Федерації та в Україні (огляд літератури) / Ф. М. Левченко, М. І. Бадюк, І. К. Серeda // Військова медицина України. – 2007. – Т. 7, № 1-2. – С. 66–72.
5. Одинцов, Л. Г. Средства первоочередного жизнеобеспечения пострадавшего населения / Л. Г. Одинцов, А. И. Ребик // Технологии гражданской безопасности. – 2007. – Т. 4, № 1. – С. 85–94.
6. Пчелкин, В. И. К вопросу о создании временных жилых городков для населения, пострадавшего в чрезвычайных ситуациях / В. И. Пчелкин, И. В. Панов // Технологии гражданской безопасности. – 2009. – Т. 6, № 3-4. – С. 170–176.
7. Размышления вслух о военных полевых лагерях самой сильной армии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pegemogi.livejournal.com/16206347.html?view=287393803#t287393803>. – Назва з екрана. – Перевірено : 28.11.2017.
8. Рубцов, Ю. В. Судьба Украины по генеральному плану / Ю. В. Рубцов // Военный академический журнал. – 2016. – № 2. – С. 67–71.
9. Руснак, І. С. Воєнна безпека України у світлі реформування сектора безпеки і оборони / І. С. Руснак // Наука і оборона. – 2015. – № 2. – С. 9–14.
10. Серватюк, В. М. Перспективні напрямки реформування системи тылового забезпечення Збройних Сил України / В. М. Серватюк, О. І. Угринович // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 2. – С. 14–18.
11. Тодосейчук, С. П. Опыт организации и оборудования пунктов временного размещения населения, пострадавшего в результате землетрясения и проведения аварийно-восстановительных работ пожарной службой Италии (по результатам командировки в г. Аквила, Италия) / С. П. Тодосейчук, Н. А. Герасимчук // Технологии гражданской безопасности. – 2009. – Т. 6, № 3-4. – С. 182–186.
12. Трофимов, А. В. Методический аппарат для обоснования рациональных составов оборудования, схем размещения, технологий развертывания и технико-экономических оценок пунктов временного размещения пострадавшего населения / А. В. Трофимов // Технологии гражданской безопасности. – 2016. – Т. 13, № 1 (47). – С. 50–54.
13. Шмаков, И. Г. Тыловое обеспечение сухопутных войск США / И. Г. Шмаков // Зарубежное военное обозрение. – 1995. – № 10. – С. 17–86.
14. Busch, G. The logistics of the war in the Sahel / G. Busch // Stability: International Journal of Security and Development. – 2013. – Vol. 2. – Iss. 2. – P. 22. doi: 10.5334/sta.bh.
15. Coticchia, F. The Transformation of Italian Armed Forces in Comparative Perspective: Adapt, Improvise, Overcome? / F. Coticchia, F. N. Moro. – London : Ashgate Publishing, Ltd., 2015. – 162 p.
16. Finlan, A. Contemporary military culture and strategic studies: US and UK armed forces in the 21st Century / A. Finlan. – London : Routledge, 2013. – 200 p.
17. Klumpp, M. Logistics research and the logistics world of 2050 / M. Klumpp, U. Clausen, M. Hompel // Efficiency and Logistics. – Berlin ; Heidelberg : Springer-Verlag, 2013. – P. 1–6. doi: 10.1007/978-3-642-32838-1_1.
18. Kumar, S. ABC–VED analysis of expendable medical stores at a tertiary care hospital / S. Kumar, A. Chakravarty // Medical Journal Armed Forces India. – 2015. – Vol. 71. – Iss. 1. – P. 24–27. doi: 10.1016/j.mjafi.2014.07.002.
19. Pietrzak, P. Armed Forces of the Republic of Poland in International Operations—Legal Grounds, Strategic Considerations, and Practical Implementation / P. Pietrzak // Polish-Ukrainian Bulletin. – Warsaw : National Security Bureau, 2012. – P. 69–85.

С. В. МЯМЛИН¹, Ю. В. КЕБАЛ², А. П. СЕВЕРИН³, С. А. ЯКОВЛЕВ^{4*}, А. И. ШАПТАЛА⁵

¹Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 84 98, эл. почта sergeyuyamlin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304

²ПКТБ, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 19, эл. почта pktb.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-1788-3076

³ 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) 793 19 19, эл. почта severinlist@gmail.com, ORCID 0000-0001-9967-4731

^{4*}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) 793 19 19, эл. почта weis23649@gmail.com, ORCID 0000-0002-6431-4303

⁵ 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) 793 19 19, эл. почта Shaptala100@meta.com, ORCID 0000-0003-1675-1450

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЫЛОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЙСК

Цель. Всестороннее и бесперебойное тыловое обеспечение войск считается одним из основных факторов успешного ведения боевых действий любым государством. Система тылового обеспечения, созданная в мирное время, предназначена для использования в ходе военной кампании. Она является связующим звеном между фронтом и экономикой страны и, в то же время, представляет собой один из важных факторов, влияющих на боевую операцию. По мнению экспертов, изменения геополитической и военно-стратегической ситуации в Европе повлекли и изменения вооруженных сил государств, в том числе в тыловом обеспечении, которое претерпевает изменения и развивается под непосредственным влиянием военной стратегии, достижение целей которой призвано обеспечить. Все это обуславливает необходимость поиска новых, более эффективных путей решения задач тылового обеспечения в современном бою. Это актуально сегодня и для Вооруженных Сил Украины. Поэтому целью работы является рассмотрение и воплощение в практику тылового обеспечения силовых структур государства инноваций в виде нового, усовершенствованного продукта: создания модульных комплексов, включающих в себя различные блок-контейнеры (кухня-столовая, душевая, прачечная, блок-пост, амбулатория и другие). Они резко изменяют в будущем качество разрешения вопросов быта военнослужащих во время выполнения боевых задач в зонах чрезвычайных ситуаций и при участии в вооруженных конфликтах. **Методика.** В основе методики заложены существенные мероприятия по совершенствованию системы тылового обеспечения в ближайшем будущем. Они заключаются в реорганизации существующей системы тылового обеспечения и создании модульных структур сил и средств, которые легко адаптируются и предназначаются впоследствии для выполнения конкретных задач. **Результаты.** Предлагается комплект конструкторской документации на блок-контейнер для прачечной и душевой в полевых условиях. Также разрабатываются технологические модули боевого (блок-пост), тылового (кухня-столовая), медицинского (передвижная амбулатория) значения и другие. **Научная новизна.** Одной из особенностей реформ, проводимых в Вооруженных Силах Украины, является их научное обоснование. Для теоретического обеспечения, разработки и обоснования перспективных идей по улучшению жизнеобеспечения военнослужащих при длительном размещении в полевых условиях, впервые предлагается использование блок-контейнеров – мобильных многофункциональных помещений. **Практическая значимость.** Учитывая, что военно-политическое руководство Украины рассматривает тыловое обеспечение войск как одну из составляющих всестороннего обеспечения вооруженных сил в мирное и военное время, использование предложенных идей по улучшению быта войск позволит сформировать новый облик системы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Украины.

Ключевые слова: инновация; тыл; быт; условия обеспечения; развитие

S. V. MYAMLIN¹, Y. V. KEBAL², O. P. SEVERYN³, S. O. YAKOVLIEV^{4*},
O. I. SHAPTALA⁵

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

²Design Bureau, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, +38 (056) 793 19 19, e-mail pktb.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-1788-3076

³Dep. «Military Training of Specialists of the State Special Service of Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 19, e-mail severinlist@gmail.com, ORCID 0000-0001-9967-4731

^{4*}Dep. «Military Training of Specialists of the State Special Service of Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, 49010, Ukraine, 49010, tel.+38 (056) 793-19-19, e-mail weis23649@gmail.com, ORCID 0000-0002-6431-4303

⁵Dep. «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, 49010, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793-19-19, e-mail Shaptala100@meta.com, ORCID 0000-0003-1675-1450

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF LOGISTICAL SUPPORT OF TROOPS

Purpose. Comprehensive and uninterrupted logistical support of troops is considered one of the main factors of successful conduct of hostilities by any state. The logistics support system, created in peacetime, is intended for use in the course of a military company. It is the link between the front and the economy of the country, and at the same time, it is one of the important factors affecting the combat operation. According to experts, changes in the geopolitical and military-strategic situation in Europe resulted also changes in the armed forces of states, including their logistical support, which is undergoing changes and is developing under the direct influence of the military strategy, the achievement of whose goals it is intended to provide. All this necessitates the search for new, more effective ways of solving logistical problems in modern combat. This is true today, including for the Armed Forces of Ukraine. Therefore, the purpose of the work is to consider and implement in practice the logistic support of the state power structures of innovations in the form of a new, improved product - the creation of modular complexes, including various block containers (kitchen-dining room, shower room, laundry, post-office, dispensary and others). They will dramatically change in the future the quality of resolving the issues of everyday life of servicemen during the performance of combat missions in emergency zones and with participation in armed conflicts. **Methodology.** The methodology is based on the main measures to improve the logistic support system in the near future, including the reorganization of the existing logistic support system and the creation of modular structures of forces and means that are easily adapted and subsequently targeted for specific tasks. **Findings.** A set of design documentation for the block - container for laundry and shower in the field is offered. Technological modules for combat (block-post), rear (kitchen-dining room), medical (mobile ambulance), and others are also being developed. **Originality.** One of the peculiarities of reforms carried out in the Armed Forces of Ukraine is their scientific justification. For the theoretical support, development and justification of promising ideas for improving the life support of servicemen during long-term deployment in the field, the use of block containers-mobile multifunctional premises - is proposed for the first time. **Practical value.** Considering that the military and political leadership of Ukraine considers the logistic support of the troops as one of the components of the all-round support of the armed forces in peacetime and wartime, the use of the proposed ideas for improving the life of the troops will help to form a new image of the material and technical support system of the Armed Forces of Ukraine.

Key words: innovation; rear area; everyday life; terms of security; development

REFERENCES

1. Vashchinin, I. A. (1998). Voyna XXI veka. *Zarubezhnoye voennoye obozreniye*, 5, 2-97. (in Russian)
2. Durnev, R. A., Trofimov, A. V., & Nasobin, A. A. (2010). Methodical Device Justification the Rational Technology for a Temporary Township to Accommodate the Population Affected by Accidents and Natural Disasters. *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti*, 7(4), 26-35. (in Russian)
3. Inyukhin, M., & Rezyapov, N. (2013). Razvitiye tylovogo obespecheniya vooruzhennykh sil Velikobritanii. *Zarubezhnoye voennoye obozreniye*, 5, 19-27. (in Russian)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

4. Levchenko, F. M., Badiuk M. I., & Sereda I. K. (2007). Analiz dosvidu zastosuvannya mobilnykh medychnykh formuvan u krainakh-chlenakh NATO, Rosiiskii Federatsii ta v Ukraini (ohliad literatury). *Military Medicine of Ukraine*, 7(1-2), 66-72. (in Ukrainian)
5. Odintsov, L. G. & Rebik, A. I. (2007). Sredstva pervoocherednogo zhizneobespecheniya postradavshogo naseleniya. *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*, 4(1), 85-94. (in Russian)
6. Pchelkin, V. I., & Panov, I. V. (2009). Regarding construction of temporary settlements for population affected in emergencies. *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*, 6(3-4), 170-176. (in Russian)
7. *Razmyshleniya vslukh o voyennykh polevykh lageryakh samoy silnoy armii*. (2016, February 11). Retrieved from <http://peremogi.livejournal.com/16206347.html?view=287393803#t287393803>. (in Russian)
8. Rubtsov, Yu. V. (2016). Ukraine's fate in the Ost general plan. *Voennyi akademicheskii zhurnal*, 2, 67-71. (in Russian)
9. Rusnak, I. S. (2015). Voienna bezpeka Ukrainy u svitli reformuvannya sektora bezpeky i oborony. *Science and Defence*, 2, 9-14. (in Ukrainian)
10. Servatuk, V. M., & Ugrinovich O. I. (2013). Perspective directions of reforming the logistics of the armed forces of Ukraine. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, 2, 14-18. (in Ukrainian)
11. Todoseichuk, S. P., & Gerasimchuk, N. A. (2009). Case study of organisation for population affected by earthquake and response operations by the fire service of Italy (based on the business trip to Aquila, Italy). *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*, 6(3-4), 182-186. (in Russian)
12. Trofimov, A. V. (2016). Methodical Apparatus for rational Justification of Formulations of Equipment, Layout Drawings, Deployment Technologies and Trchno-economic Evaluations of Temporary Accommodations of the Affected Population. *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*, 13, 1(47), 50-54. (in Russian)
13. Shmakov, I. G. (1995). Tylovoe obespecheniye sukhoputnykh voysk SShA. *Zarubezhnoye voennoye obozreniye*, 10, 17-86. (in Russian)
14. Busch, G. (2013). The logistics of the war in the Sahel. *Stability: International Journal of Security and Development*, 2(2), 22. doi:10.5334/sta.bh. (in English)
15. Coticchia, F., & Moro, F. N. (2015). *The Transformation of Italian Armed Forces in Comparative Perspective: Adapt, Improvise, Overcome?* London: Ashgate Publishing, Ltd. (in English)
16. Finlan, A. (2013). *Contemporary military culture and strategic studies: US and UK armed forces in the 21st Century*. London: Routledge. (in English)
17. Klumpp, M., Clausen, U., & Hompel, M. (2013). Logistics research and the logistics world of 2050. *Efficiency and Logistics*, 1-6. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-642-32838-1_1. (in English)
18. Kumar, S., & Chakravarty, A. (2015). ABC–VED analysis of expendable medical stores at a tertiary care hospital. *Medical Journal Armed Forces India*, 71(1), 24-27. doi: 10.1016/j.mjafi.2014.07.002. (in English)
19. Pietrzak, P. (2012). Armed Forces of the Republic of Poland in International Operations—Legal Grounds, Strategic Considerations, and Practical Implementation. *Polish-Ukrainian Bulletin*, 69-85.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. І. Нетесою (Україна), д.т.н., проф. Б. І. Кіндрацьким (Україна)

Поступила до редколегії: 10.08.2017

Прийнята до друку: 23.11.2017

UDC 624.138.9-625.02-625.122V. D. PETRENKO¹, O. L. TIUTKIN², I. O. SVIATKO^{3*}

¹Dep. «Bridges and Tunnels», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 79, e-mail petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0002-5902-6155

²Dep. «Bridges and Tunnels», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 79, e-mail alexeytutkin@gmail.com ORCID 0000-0003-4921-4758

^{3*} Dep. «Bridges and Tunnels», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 79, e-mail i-svjatko@gmail.com, ORCID 0000-0002-7099-2637

STUDY OF THE EFFECT OF SOIL CEMENT ELEMENTS WHEN STABILIZING ROADBED MODEL IN LABORATORY CONDITIONS

Purpose. Experimental studies allow determining the stress-strain state or bearing capacity of the tested soil body. A preliminary study of the results of model testing and experimental research allows us to find the optimal solutions and to justify the parameters of the chosen technology. The purpose of this work is to determine the effect of soil cement elements when stabilizing the roadbed on a weak subgrade using the soil tests in laboratory conditions. **Methodology.** During the development of measures for the reconstruction and consolidation of soil bodies, their strength is tested using many methods. In all cases, we take into account the physical and mechanical characteristics of soils obtained as a result of research, as well as the existing regulatory documents. We performed the experimental studies by model testing in laboratory conditions. The model testing was based on the corresponding relationships between geometric sizes, mechanical properties of materials, loads and other factors on which the stress-strain state depends. During testing, the model was loaded gradually. We maintained each load level up to conditional stabilization of the soil deformation. We took the readings from measuring devices at each stage of loading after achievement of stabilization of soil mass deformations. We fixed the readings in the test journal. **Findings.** During stabilization with soil cement piles there is an improvement in mechanical properties, which leads to a decrease in deformations by 2...3.5 times. Each test is accompanied with graphs of relative deformations-stress dependence, as well as deformation curves and compression curves. According to the results of experimental studies, it can be seen that when testing a model with cement piles, compared with a model without soil cement piles, the relative deformations of the samples taken prior to the experiment and after the experiment almost coincide, indicating a decrease in deformability under load. **Originality.** We proved that this stabilization type positively affects the stress-strain state of the soil body, by increasing its physical and mechanical characteristics. The obtained results allow for rational design of subgrade stabilization work with the help of modern technologies. **Practical value.** The in-depth analysis of the results of experimental studies opens up possibilities for theoretical synthesis and development of theoretical foundations, which will allow in the future avoiding, in the similar cases, the experimental verification of the stabilization type given for the relative type of soil. It is confirmed that this method of stabilization used can be applied in real conditions.

Keywords: roadbed; soil cement elements; trough study; soil tests

Introduction

Knowledge of the mechanical properties of soils is equally important for both the roadbed and the calculation of the rolling stock-embankment interaction.

It is clear that the mechanical properties of any soil, in different operation conditions, should vary significantly.

When calculating the interaction of subgrade soil with the track superstructure, the urgent task is

to identify the parameters that determine the development of deformations in subgrade soil.

Modern production requires the ability of specialists to independently put and solve various fundamentally new technical problems, which cannot be done without mastering the basics of scientific research. Based on common research methods, we get the answer to the question where to start the study, how to treat facts, how to generalize them, which way to go from the facts to conclusions. When researchers have enough factual material, then as a means of solving this technical problem,

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

they use hypothesis – evidence-based assumptions put forward to explain any process which after checking may be true or false.

In the process of learning, experimental research is a necessary step in obtaining empirical knowledge.

Experiment is the most important part of scientific research. Its basis is a scientifically advanced experience with precisely calculated and controlled conditions.

The main purpose of the experiment is to identify the properties of the objects under study, to test the validity of the hypotheses, and on this basis to study widely and deeply the topic of scientific research [1, 8].

The development of modern computing systems and applications allow receiving answers to almost all questions pertaining to predict the behaviour and characteristics of stress-strain state of soil. However, there are problems when this is not enough, for example, there are no theoretically substantiated solutions, or the tasks themselves are rather complicated.

Experimental studies allow us to determine the stress-strain state or bearing capacity of the tested subgrade [2, 3, 4].

Most of the experimental studies should be performed on large-scale models, and only in special cases one should perform natural experiments. Preliminary study of the results of model testing and experimental research allows us to find the optimal solutions and to substantiate the parameters of the chosen technology in industrial conditions.

Purpose

Experimental studies of the roadbed construction, which is reinforced by ground-cement piles, are carried out to solve the following issues:

- analysis of the results of numerical and full-scale model testing with the purpose of obtaining the methodology of calculations at the design stage;
- definition of dependencies of soil body properties on the parameters of roadbed stabilization.

Methodology

Experiment is called a set of researches, which are united by one purpose, one system of restrictions in space and time.

The study is the realization on the object of certain conditions and rules. As a result of the experiment, an event occurs, the appearance of which is fixed by some parameter, which, as a rule, has a numerical definition and characterizes the result to a large extent.

The experiment is the most important part of scientific research. This is one of the main ways to gain new scientific knowledge. More than 2/3 of all labour resources of science are spent on experiments. The base of the experimental study is an experiment, which is a scientifically established experience or observation of a phenomenon in clearly defined conditions that allow it to be monitored, manipulated, reproduced every time when these conditions are repeated. The experiment differs from the usual, every day, passive observation by the active influence of the researcher on the phenomenon under study.

The main purpose of the experiment is testing the theoretical positions (confirmation of the working hypothesis), as well as a broader and more profound study of the topic of scientific research.

The experiment should be carried out as soon as possible with minimum costs at the highest quality of the results.

During the development of measures for the reconstruction and stabilization of soil bodies, their strength is tested using many methods. In all cases, we take into account the physical and mechanical characteristics of soils obtained as a result of research, as well as the existing regulatory documents.

The experiment method corresponds to the modern level of science, takes into account the experience gained earlier. The proposed method includes the justification of the research design, instrumental support, etc. [9].

Model testing is a method of studying any phenomenon by comparison with another phenomenon similar thereto, that is, the reproduction of the properties of an object on a specially reproduced analogue-model. There are mathematical model testing, physical model testing, model testing on mechanical models.

In this paper, simulation is an experimental solution to a problem and occupies an intermediate position between analytical calculations and field studies.

The model testing was carried out on the basis of the corresponding relationships between geometric sizes, mechanical properties of materials, loads and

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

other factors on which the stress-strain state depends [2, 7].

The design of the model allows providing the requirements of all normative documents regulating soil tests in laboratory conditions.

The model scale is chosen in such a way that the geometric dimensions, material characteristics, load, and other model parameters are interconnected by a system of equations that is a condition of similarity.

The preparatory phase included making up an experiment program, in particular the selection of independent and dependent variables, the analysis of the ways to achieve the testing integrity, the identification of the optimal sequence of experimental actions, the development of methods for fixing and analysing the results, preparing the necessary equipment, giving guidance to the test subjects, and forming a sample.

In accordance with the study tasks, the work program provided for soil tests in conjunction with ground-cement elements.

During the study the following procedure was performed:

- 1 – Arrangement of a constructive solution for soil body stabilization
- 2 – Assembly of load and measuring systems
- 3 – Test
- 4 – Disassembly of measuring and loading systems
- 5 – Removal of the soil body and examination of the soil cement elements.

The initial stage of experimental research is the construction of a control model. For this purpose, we used the laboratory trough of the DNURT laboratory, filled with soil in accordance with the roadbed transverse profile. Laboratory trough is a capacity of 0.65x0.25x0.12m, which eliminates the subgrade deformations, and, accordingly, their effect on the results of the study.

General construction of the trough with measuring devices is shown in Fig. 1.

During testing, the model was loaded gradually. The maximum load was 16 kg. The value of maximum pressure was calculated at R65 rails and 25t load per axle.

Each load level was maintained up to conditional stabilization of soil deformation. We took the readings from measuring devices at each stage of loading after achievement of stabilization of soil body deformations. We fixed the readings in the test journal. Upon reaching the maximum load, we un-

loaded the tested model fixing the readings of the measuring devices.



Fig. 1. Model of soil bank in trough with measuring devices.



Fig. 2. Roadbed model before the test

The journal was filled in neatly, without any corrections. Simultaneously with measurements, we conducted pre-processing of the results and their analysis. This analysis allows controlling the process under study, adjusting the experiment, improving the technique, and increasing the efficiency of the experiment.

Findings

We carried out the model testing in laboratory conditions using a standard trough filled with soil in accordance with the roadbed transverse profile. Laboratory trough is a capacity of 0.65x0.25x0.12m, which eliminates the subgrade deformations, and, accordingly, their effect on the results of the study [6, 11].

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

It should be noted that the soil properties correspond to complicated engineering and geological conditions, and the soil itself (loam) for laboratory experiments was sampled on the problem areas of the railway [5, 10].

After performing the control calculation of an unshaped roadbed, we obtained the maximum deformations of 5...8 mm.

The maximum relative deformations are 0.24...0.372 mm for the non-stabilized body, and 0.125...0.2 mm for the stabilized body (Fig. 3). Accordingly, when reinforced with soil cement piles there is an improvement in mechanical properties, which leads to a decrease in deformations by 2...3.5 times. Moreover, we can say that the residual deformations have at least half of the deformations of crushed stone bed (Fig. 4).

It should be noted that after the test all the piles remained in the initial state, no cracks, chips and other damages were detected (Fig. 5).

After each stage of the tests, we performed laboratory testing of soil samples before and after loading.

Each test is accompanied with graphs of relative deformations-stress dependence, as well as deformation curves and compression curves.

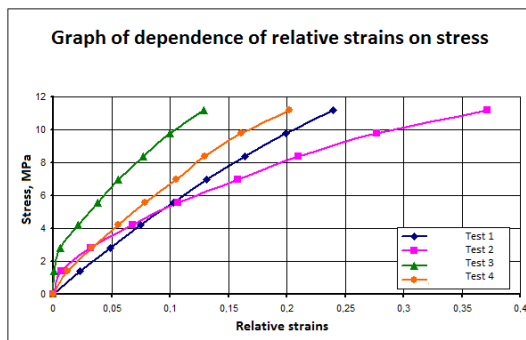


Fig. 3. Graph of dependence of relative strains on stress



Fig. 4. Soil sample after the test



Fig. 5. Appearance of the soil cement elements in the bank body after the test

According to the results of experimental studies, it can be seen that when testing a model with cement piles, compared with a model without soil cement piles, the relative deformations of the samples taken prior to the experiment and after the experiment almost coincide, indicating a decrease in deformability under load.

The conducted experiments showed the increase in soil deformation as a result of the placement of soil cement elements, due to the soil consolidation. It can be assumed that the total deformation module of the entire body, taking into account stabilizing soil cement elements, will be much higher.

Originality and practical value

The paper considers the possibility of stabilizing the roadbed on a weak subgrade using the soil cement piles. We proved that this stabilization type positively affects the stress-strain state of the soil body, by increasing its physical and mechanical characteristics.

The in-depth analysis of the results of experimental studies opens up possibilities for theoretical synthesis and development of theoretical foundations, which will allow in the future avoiding, in the similar cases, the experimental verification of the stabilization type given for the relative type of soil.

The implemented stabilization of the roadbed with the soil cement elements will contribute to improving the track strength and state.

The obtained results allow for rational design of subgrade stabilization work with the help of modern technologies.

Conclusions

The experience of designing and operating the track structure has shown that over time it is necessary to take certain measures to improve the soil body characteristics to allow further normal operation of the roadbed.

When increasing the load on the weak subgrade as a result of the construction of the other track, back filling or increased axial load when changing the rolling stock, the process of settling and consolidation can continue again. Therefore, one of the most expedient and perspective variants of designing and reconstruction of embankments on weak subgrade is the subgrade stabilization using string cementation. The arrangement of soil cement piles allows providing short terms for roadbed stabilization, the possibility of quick putting

into operation of the track section and small values of subsidence.

Soil cement elements that are widely used abroad, as well as in the construction of industrial and civilian facilities, can be applied for reinforcement of transport constructions, namely, when stabilizing both the roadbed and weak subgrade.

The use of model testing allows us to detect the stress-strain state of a soil body with any geometric and physical-mechanical characteristics.

The presented method of experimental research allows estimating objectively the real influence of soil cement elements on the soil body of the weak subgrade roadbed.

Thus, it is confirmed that this method of stabilization used can be applied in real conditions.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Аналітична записка до Концепції Державної цільової програми розвитку пасажирських перевезень на залізничному транспорті України до 2020 року. – Київ : Київдптротранс, 2010. – 39 с.
2. Довідник основних показників роботи залізниць України (2005–2015 роки) / ПАТ «Українська залізниця». – Київ, 2016. – 58 с.
3. Курган, Н. Б. Предпосылки создания высокоскоростных магистралей в Украине / Н. Б. Курган // Укр. залізниця. – 2015. – № 5–6 (23–24). – С. 16–21.
4. Оцінка економічної ефективності усунення обмежень швидкості руху поїздів, пов'язаних зі станом залізничної колії / А. А. Босов, М. Б. Курган, Д. М. Курган, С. Ю. Байдак // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 41. – С. 106–115.
5. Петренко, В. Д. Порівняльний аналіз методів укріплення земляного полотна / В. Д. Петренко, І. О. Святко, Д. О. Ямпольський // Стр-во, матеріалознавство, машиностроєння : сб. науч. тр. / Приднєпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 69. – С. 369–373.
6. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП-0117 : затв. наказом Укрзалізничці від 13.12.2004 р. № 960-ЦЗ. – Київ : ЦП УЗ, 2004. – 69 с.
7. Barreira, A. Competitiveness of high-speed rail / A. Barreira, V. Reis, R. Macario // Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board. – 2013. – Vol. 2374. – P. 9–16. doi: 10.3141/2374-02.
8. High speed rail. First track to sustainable mobility [Electronic resource]. – Paris : UIC, 2009. – 14 p. – Available at: http://www.vialibre-ffe.com/PDF/4509_AVE_UIC.pdf. – Title from the screen. – Accessed : 15.02.2017.
9. New routes on old railways: increasing rail's mode share within the constraints of the existing railway network / S. P. Blainey, J. Armstrong, A. S. J. Smith, J. M. Preston // Transportation. – 2016. – Vol. 43. – Iss. 3. – P. 425–442. doi: 10.1007/s11116-015-9582-5.
10. Petrenko, V. D. Estimation of subgrade strengthening influence using soilcement elements / V. D. Petrenko, I. O. Sviatko, O. L. Tiutkin // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 4 (64). – С. 161–168. doi: 10.15802/stp2016/78254.
11. Thelisson, G. Overhead line from start to finish / G. Thelisson // Railway Gazette Intern. – 2012. – July. – P. 48–49.

В. Д. ПЕТРЕНКО¹, О. Л. ТЮТЬКІН², І. О. СВЯТКО^{3*}

¹Каф. «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 79, ел. пошта petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0002-5902-6155

²Каф. «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 79, ел. пошта alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

^{3*}Каф. «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 79, ел. пошта isvjatko@gmail.com, ORCID 0000-0002-7099-2637

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГРУНТОЦЕМЕНТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ УКРІПЛЕННІ МОДЕЛІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

Мета. Експериментальні дослідження дозволяють визначити напружено-деформований стан або несучу здатність ґрунтового масиву, що розглядається. Попереднє вивчення результатів моделювання й експериментальних досліджень дозволяє підібрати оптимальні рішення та обґрунтувати параметри обраної технології. Метою даної роботи є визначення впливу ґрунтоцементних елементів укріплення земляного полотна на слабкій основі за допомогою випробування ґрунтів у лабораторних умовах. **Методика.** Під час розробки заходів щодо реконструкції та укріплення ґрунтових масивів виконується перевірка їх міцності за допомогою багатьох методів. В усіх випадках до уваги приймають фізико-механічні характеристики ґрунтів, отримані в результаті досліджень, а також діючі нормативні документи. Експериментальні дослідження виконувались шляхом моделювання в лабораторних умовах. Моделювання здійснювалось на основі відповідних співвідношень між геометричними розмірами, механічними властивостями матеріалів, навантаженнями та іншими факторами, від яких залежить напружено-деформований стан. При проведенні випробувань навантаження моделі здійснювалось поступово. Кожну ступінь навантаження витримували до умовної стабілізації деформації ґрунту. Зняття відліків із вимірювальних пристроїв на кожному ступені навантаження виконувалось після досягнення стабілізації деформацій ґрунтового масиву. Фіксування відліків із обладнання відзначалось у журналі випробувань. **Результати.** При укріпленні ґрунтоцементними палями моделі земляного полотна відбувається покращення механічних властивостей, що призводить до зменшення деформацій у 2...3,5 рази. Для кожного випробування побудовані графіки залежності відносних деформацій від напруження, а також графіки деформацій та компресійні криві. За результатами експериментальних досліджень можна побачити, що при випробуванні моделі з влаштуванням ґрунтоцементних паль, порівняно з моделлю без влаштування ґрунтоцементних паль, відносні деформації зразків, що були відібрані до експерименту та після експерименту, майже збігаються, що свідчить про зменшення деформативності під навантаженням. **Наукова новизна.** Доведено, що даний тип укріплення позитивно впливає на напружено-деформований стан ґрунтового масиву шляхом підвищення його фізико-механічних характеристик. Отримані результати дозволяють раціонально проектувати роботи з укріплення ґрунтової основи за допомогою сучасних технологій. **Практична значимість.** Поглиблений аналіз результатів експериментальних досліджень відкриває можливості для теоретичного узагальнення та розробки теоретичних основ, що дозволить у подальшому уникнути в аналогічних випадках експериментальної перевірки приведеного в роботі виду укріплення для даного виду ґрунту. Підтверджено, що використаний метод укріплення може бути застосований у реальних умовах.

Ключові слова: земляне полотно; ґрунтоцементні елементи; лоткові дослідження; випробування ґрунтів

В. Д. ПЕТРЕНКО¹, А. Л. ТЮТЬКИН², И. А. СВЯТКО^{3*}

¹Каф. «Мосты и туннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 79, эл. почта petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0002-5902-6155

²Каф. «Мосты и туннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 79, эл. почта alexeyututkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

^{3*}Каф. «Мосты и туннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 79, эл. почта i-svjatko@gmail.com, ORCID 0000-0002-7099-2637

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ УКРЕПЛЕНИИ МОДЕЛИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Цель. Экспериментальные исследования позволяют определить напряженно-деформированное состояние или несущую способность рассматриваемого грунтового массива. Предварительное изучение результатов моделирования и экспериментальных исследований позволяет подобрать оптимальные решения и обосновать параметры выбранной технологии. Целью данной работы является определение влияния грунтоцементных элементов укрепления земляного полотна на слабом основании с помощью испытания грунтов в лабораторных условиях. **Методика.** При разработке мероприятий по реконструкции и укреплению грунтовых массивов выполняется проверка прочности с помощью многих методов. Во всех случаях во внимание принимают физико-механические характеристики грунтов, полученные в результате исследований, а также действующие нормативные документы. Экспериментальные исследования выполнялись путем моделирования в лабораторных условиях. Моделирование осуществлялось на основе соответствующих соотношений между геометрическими размерами, механическими свойствами материалов, нагрузками и другими факторами, от которых зависит напряженно-деформированное состояние. При проведении испытаний нагрузки модели осуществлялись постепенно. Каждую степень нагрузки выдерживали до условной стабилизации деформации грунта. Снятие отсчетов с измерительных устройств на каждой ступени нагрузки выполнялось после достижения стабилизации деформаций грунтового массива. Фиксирование отсчетов по оборудованию отмечалось в журнале испытаний. **Результаты.** При укреплении грунтоцементными сваями модели земляного полотна происходит улучшение механических свойств, что приводит к уменьшению деформаций в 2...3,5 раза. Для каждого испытания построены графики зависимости относительных деформаций от напряжения, а также графики деформаций и компрессионные кривые. Из анализа результатов экспериментальных исследований можно заключить, что при испытании модели с устройством грунтоцементных свай, по сравнению с моделью без устройства грунтоцементных свай, относительные деформации грунтов были меньше. **Научная новизна.** Доказано, что данный тип укрепления положительно влияет на напряженно-деформированное состояние грунтового массива, а также на его физико-механические характеристики. Полученные результаты позволяют рационально проектировать работы по укреплению грунтового основания с помощью современных технологий. **Практическая значимость.** Углубленный анализ результатов экспериментальных исследований открывает возможности для теоретического обобщения и разработки теоретических основ, позволит в дальнейшем избежать в аналогичных случаях экспериментальной проверки приведенного в работе вида укрепления для данного вида грунта. Подтверждено, что использованный метод укрепления может быть применен в реальных условиях.

Ключевые слова: земляное полотно; грунтоцементные элементы; лотковые исследования; испытания грунтов

REFERENCES

1. *Analitichna zapyska do Kontseptsii Derzhavnoi tsilovoi prohramy rozvytku pasazhyrskykh perevezhen na zaliznychnomu transporti Ukrainy do 2020 roku.* (2010). Kyiv: Kyivdiprotrans. (in Ukrainian)
2. PJSC Ukrzaliznytsia (2016). *Dovidnyk osnovnykh pokaznykiv roboty zaliznyts Ukrainy (2005–2015 roky).* Kyiv. (in Ukrainian)
3. Kurgan, N. B. (2015). *Predposylki stozdaniya vysokoskorostnykh magistralej v Ukraine. Ukrainski zaliznytsi, 5-6(23-24), 16-21.* (in Russian)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

4. Bosov, A. A., Kurhan, M. B., Kurhan, D. M., & Baidak, S. Yu. (2012). Estimation of economic efficiency from restrictions elimination of speed movement of trains. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 41, 106-115. (in Ukrainian)
5. Petrenko, V. D., Sviatko, I. O., & Yampolskyi, D. O. (2013). *Porivnialnyi analiz metodiv ukriplennia zemliano-ho polotna. Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie*, 69, 369-373. (in Ukrainian)
6. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist: TsP-0117 : zatv. nakazom Ukrzaliznytsi vid 13.12.2004 r. №960-TsZ*. (2004). Kyiv: TsP UZ. (in Ukrainian)
7. Barreira, A., Reis V., & Macario, R. (2013). Competitiveness of high-speed rail. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2374, 9-16. doi: 10.3141/2374-02. (in English)
8. *High speed rail. First track to sustainable mobility*. (2009). Retrieved from: http://www.vialibreffe.com/PDF/4509_AVE_UIC.pdf. (in English)
9. Blainey, S. P., Armstrong, J., Smith, A. S. J., J. & Preston, M. (2016). New routes on old railways: increasing rail's mode share within the constraints of the existing railway network. *Transportation*, 43(3), 425-442. doi: 10.1007/s11116-015-9582-5. (in English)
10. Petrenko, V. D., Sviatko, I. O., & Tiutkin, O. L. (2016). Estimation of subgrade strengthening influence using soilcement elements. *Science and Transport Progress*, 4(64), 161-168. doi: 10.15802/stp2016/78254. (in English)
11. Thelisson, G. (2012, July). Overhead line from start to finish. *Railway Gazette International*, 48-49. (in English)

Ass. Professor. V. P. Kupriy, Ph.D. in Engineering Sc. (Ukraine); Prof. S. I. Holovko, Dr. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Aug. 07, 2017

Accessed: Nov. 24, 2017

УДК 624.131.1

Я. В. УЛЬЯНОВ^{1*}

^{1*}Лабораторія досліджень атомних і теплових електростанцій, Придніпровський науково-освітній центр інноваційних технологій у будівництві, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24 а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (063)180 33 86, ел. пошта t-vail^ulianov@ua.fm, ORCID 0000-0002-5575-4753

ІЗ ДОСВІДУ ПРОВЕДЕННЯ ПОРІВНЯЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЛЕСОВИХ ҐРУНТІВ РУЧНИМИ ДИНАМІЧНИМИ ЗОНДАМИ РІЗНОМАНІТНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Мета. Для визначення параметрів ґрунтів лесової формації, які вважаються складними в будівництві або експлуатації житлових та промислових споруд, передбачається аналіз отриманих даних польових досліджень для того, щоб використовувати їх у розрахунках для прогнозування ситуації, що може скластися в експлуатації об'єктів. За головну мету дослідження було висунуто: 1) вдосконалення наших уявлень про ґрунти лесової формації на прикладі визначення можливої зміни параметрів лесової товщі, яка знаходиться під впливом навантаження від повної ваги будівлі; 2) відпрацювання методики проведення зондування шляхом впровадження поліпшених, удосконалених ручних зондів та порівняння даних цих випробувань із тими, що були отримані іншими методами; 3) визначення шляхів подальшого проведення досліджень за допомогою ручних зондів. **Методика.** Напрямки інженерно-геологічних досліджень були актуалізовані за допомогою методів аналізу та синтезу, та як інструментарій було виконано динамічне зондування. **Результати.** Автором були проаналізовані дані динамічного зондування ґрунтів зондами типу ДІТ-5 конструкції Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Також проведено зондування легким малогабаритним зондом типу ЛДАТЕ на об'єкті випробувань, що знаходився в складних інженерно-геологічних умовах: на забудованій території, ґрунти якої представлені лесами. У подальшому був визначений динамічний опір ґрунту зондуванню та виведена формула залежності між отриманими показниками динамічного опору. **Наукова новизна.** Зондування необхідних лесових ґрунтів, які склали територію будівництва, проводилося вперше застосованим зондом власної розробки групи авторів, у тому числі – й автора статті. **Практична значимість.** Динамічне зондування, що набуло значного поширення під час інженерних випробувань у будівництві 60–70 рр. минулого сторіччя, сьогодні вживається рідко, а для дослідження лесових ґрунтів у їх різноманітних станах (обводнених, порушених тощо) майже не розроблено. Тому виведення формули кореляції, що підтверджує права на вживання існуючих формул та розрахункових коефіцієнтів саме для ґрунтів лесової формації (а це близько 90 % четвертинних ґрунтів України), є актуальною та новітньою темою.

Ключові слова: динамічне зондування; малогабаритний зонд; умовний динамічний опір; ґрунти лесової формації

Вступ

Під час інженерних випробувань під будівництво будь-яких об'єктів ставиться за мету визначення параметрів ґрунту безпосередньо в польових умовах. До обладнання, яке доцільно використовувати в польових умовах, належать динамічні зонди різного виконання. Динамічний зонд – легкий та доступний прилад, за допомогою якого відбирають проби ґрунту непорушеної структури з метою проведення ґрунтових випробувань та визначення параметрів ґрунту [1, 2].

Широко розповсюджені випробування за допомогою динамічного зондування не скельних порід, більш того, рекомендовані такі випробування в складних геологічних умовах (карст), на забудованій території або в межах старих будівель і споруд тощо. Щодо випробувань лесових ґрунтів, то динамічне зондування лесів взагалі представлялося досить складною проблемою, також через те, що леси легко порушуються, просідають, створюють пливуні та каверни. Тому матеріал з досліджень лесів саме зондуванням є актуальною темою сучасних інженерних випробувань [3].

Виділимо окремо, що такі дослідження є досить економічними, оскільки включають тільки

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

витрати на зонд та його транспортування, а також зарекомендували себе в тих випадках, коли на забудованій території або в межах старих будівель і споруд неможливо розташувати громіздке обладнання або виникають труднощі через обмеженість простору, значну кількість комунікацій.

Мета

Перед виконанням досліджень на підставі даних літературних джерел з історії питання в архівах ДПТУ, ПДАБА, МГСУ, МГУ [2, 3, 6–9, 12, 13, 17] тощо (попутно відзначимо, що сучасні публікації про динамічне зондування малогабаритними зондами, а особливо про зондування лесових товщ – дуже нечисленні), були визначені такі напрямки дослідження, а саме:

- визначення можливих змін параметрів лесової товщі верхньої частини геологічного розрізу, що знаходиться між кущами буронабивних палів з урахуванням повної ваги будівлі;

- отримання вихідних даних для розрахунків показників лесу через отримані коефіцієнти між геотехнічними параметрами для стандартних та нестандартних зондів, співставлення їх з нормами та вимогами існуючих нормативних документів;

- розробка напрямів подальшого покращення методів проведення випробувань зондами ЛДАТЕ (рос. – ЛИАТЭ) та ДПТ-5 з упором на випробування в складних інженерно-геологічних обставинах та в умовах діючого будівельного виробництва.

Методика

У процесі дослідження використані методи аналізу і синтезу з метою визначення найбільш актуальних напрямків інженерно-геологічних досліджень лесів. Як інструментарій було виконано динамічне зондування ґрунтів та за його результатами порівняльно-аналітичним методом була отримана кореляційна залежність.

Методика та обладнання дослідження

Дані дослідження проводилися в складних інженерно-геологічних умовах: на території 5-поверхового житлового будинку (м. Дніпро) з підземним паркінгом; який близько розташований до інших споруд, у тому числі дорево-

люційної забудови, з фундаментом, що складається з кущів буронабивних палів, на які спирається плита ростверку завтовшки 1 000 мм [4].

Під час експлуатації даної території неодноразово проводилися дослідження ґрунтів, що її складають. Тому за попередньо отриманими даними ґрунти характеризуються як еолово-делювіальні верхньочетвертинні лесові супіски, пилюваті, тверді, високопористі, загальною міцністю до 10 м, схильні до просідання. Щільність ґрунту 1,59 г/см³, щільність сухого ґрунту 1,47 г/см³ та пористість 45 %, природна вологість 0,09 част. од. Модуль деформації ґрунту з природною вологістю становить $E = 18$ МПа, а у вологонасиченому стані – 9 МПа. Проектна гранична величина середнього осідання фундаменту складає 15 см.

Після закінчення будівництва житлового будинку було виконано динамічне зондування лесів до глибини до 3,1 м двома ручними зондами розробки ЛДАТЕ та ДПТ-5 через підвал (підземний паркінг) завдяки спеціально розташованому під час будівництва в плиті ростверку трубним проходкам діаметром 1 000 мм та розташованому всередині паркінга наскрізному приямку загальною площею 1 м². Відстань між точками зондування не перебільшувала 1 м. Схема розташування точок зондування наведена на рис. 1.

Випробування проводилися згідно з діючим на час виконання робіт ДСТУ Б В.2.1-9-2002, пізніше – ДСТУ Б В.2.1-9-2016 [4, 5].

Результати

Під час польових випробувань зондами двох типів були отримані дані, за якими накреслений графік (рис. 2), що пов'язує значення умовного динамічного опору ґрунту $Pd(s_z)$ (стандартний зонд ЛДАТЕ) та $Pd(m_z)$ (малогабаритний – ДПТ-5).

Технічні параметри обох зондів наведено в табл. 1.

Як відомо, переважна більшість ручних забивних зондів, що застосовуються в наступний час, представлена легкими типами (з молотом до 10 кг), за винятком майже недавно розроблених ручних зондів стандартного типу РДК та ЛДАТЕ, причому слід відзначити, що зонд ЛДАТЕ було застосовано значно раніше, ніж зонд компанії «Геотест» – РДК [8, 10, 11].

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

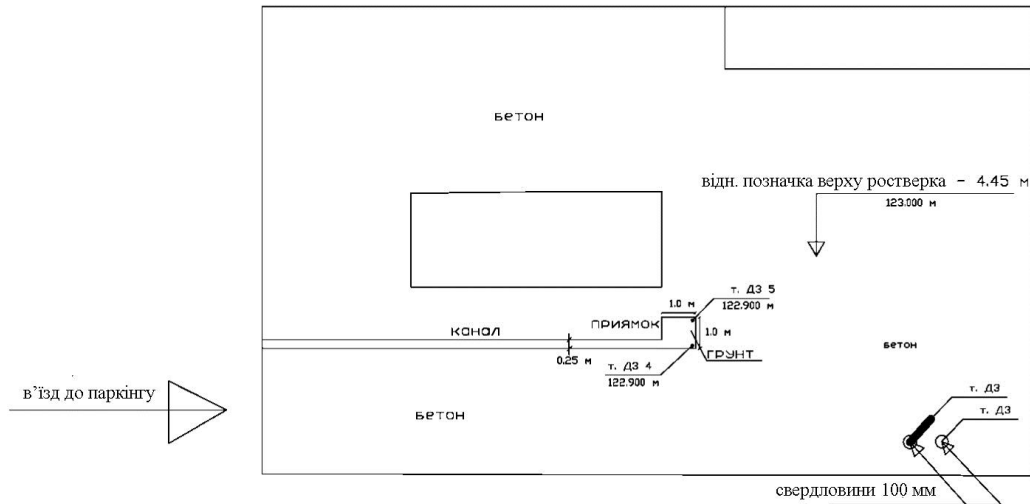


Рис. 1. Схема ділянки випробувань

Fig. 1. Scheme of test section

Таблиця 1

Основні параметри ручних забивних зондів ЛДАТЕ та ДПТ-5

Table 1

The main parameters of manual driving rods LDATE and DPT-5

№	Тип зонда	Висота скидання молота, см	Маса молота, кг	Штанги		Конічний наконечник		Маса складеного зонда (без молота), кг
				Діаметр штанг, мм	Довжина штанг, см	Діаметр конуса, мм	Кут загострення конуса, град	
1	ДПТ-5	50	10	20,0	110/124	40	60	8
2	ЛДАТЕ	40	30	33,5	90/100	74	60	30

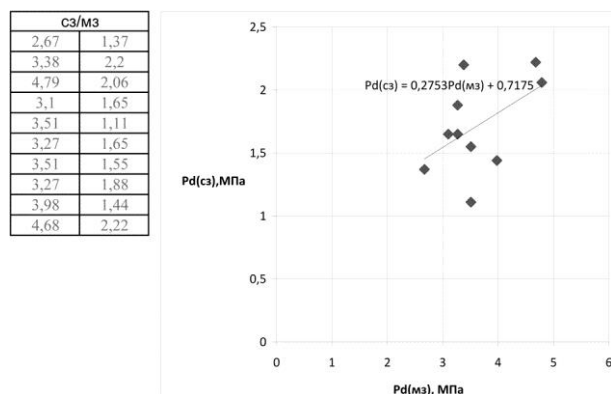


Рис. 2. Графік динамічного опору ґрунту зондуванню

Fig. 2. Graph of dynamic soil resistance to sounding

Відомі деякі спроби виведення формул та коефіцієнтів перерахунку параметру P_d для стандартних або малогабаритних зондів. Зокрема, такі залежності запропонувала Н. Н. Зубкова для флювіогляціальних відкладів Підмосков'я [6, 7]. Аналіз їх показує, що їх неможливо застосовувати для лесів середнього Придніпров'я, однак, вже отримані дані можуть стати прикладом для виведення регіональних кореляційних залежностей аналогічного виду.

Зокрема, для ґрунтових умов даного будівельного майданчика на підставі обробки та аналізу матеріалів польових досліджень, які були виконані зондами ЛДАТЕ (стандартний зонд) та ДПТ-5 (нестандартний зонд), для лесових ґрунтів напівтвердої та твердої консистенції, що залягають під плитою ростверка, була запропонована кореляційна залежність:

$$Pd(сз)=0.2753Pd(мз)+0.7175.$$

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Було визначено, що лесові ґрунти, що складають дану територію, схильні до просідання ґрунту та порушень його структури. Можна прогнозувати, як буде змінюватися структура лесу під впливом вологи або вібрації, через рух транспорту тощо.

Відзначимо також, що були отримані проміжні результати експериментів і для подальших висновків з метою їх достовірності можна запланувати такі дослідження, як: зондування ґрунту у вологому стані (водонасиченому або обводненому), польові експерименти з розташуванням палів біля траси або на трасі (під впливом постійного руху транспорту) або поблизу будівництва і т. д. Методика експериментів була покращена з точки зору її проведення, однак, залишаються питання про обсяг та зміст подальших польових випробувань. Крім того, з точки зору оцінки стану ґрунтів, слід запроєктувати дослідження за деякі протяжні інтервали часу (місяць, рік тощо). За тими даними, що були обрані в літературі [9], такі зміни за часом були незначними, хоча і рухалися територією будівельно-кранові машини, екскаватори, самоскиди – все це не змінювало істотно показники ґрунту. Але слід враховувати, що стан конкретного типу ґрунту на території його розповсюдження залежить і від стихійного водопостачання або розташування будь-якого виробництва. Тобто, щоб прогнозувати поведінку ґрунтів, особливо посадочних, таких як леси, необхідно визначати всі умови експлуатації даної території та споруд, що там розташовані. Тільки з урахуванням всіх техногенних та природних факторів можна говорити про достовірність та вірогідність експериментів.

Наукова новизна та практична значимість

Дані дослідження мали за відправний поштовх вдосконалення приладів та пристосувань для зондування. Існуючі установки (такі, наприклад, як найбільш близький за призначенням і параметрами аналог зонду даної конфігурації прилад РДК компанії «ГЕОТЕСТ», розроблений у м. Єкатеринбург, Росія, <http://geotest.ru/complect/РДК/ДЗ>, складний за конструкцією та великий за габаритами: складається з кількох штанг із закріпленим до них конусом для занурювання в ґрунт, комплекту-

ється утримувачем з рукоятками і центратором зі спеціальними штирями). Недоліками цього та багатьох інших приладів є відносно складна для ручного пристрою конструкція, достатньо великі габарити, що роблять важкими проведення випробувань в обмежених (складних) умовах, а головне, відсутня можливість застосування таких приладів для зондування за стандартом SPT (*Standart Penetration Test*). До того ж, для проведення випробувань комплектом РДК потрібні зусилля 3 виконавців.

В основу технічного рішення зонду власної розробки було покладено мету створення дешевого і простого за конструкцією вітчизняного пристрою, з можливістю серійного виробництва, для випробувань ґрунтів під фундаменти споруд методом динамічного зондування, особливо в недоступних місцях з мінімальною кількістю виконавців. Для цього була покращена конструкція зонду, з доданням додаткового приладдя для роботи з важкими ґрунтами, у тому числі – з тими, що містять у собі включення будівельного сміття, уламки тощо. Такі передбачені допоміжні прилади та пристосування роблять зонд універсальним, а також надають можливість зондування за стандартом SPT.

Польові випробування з відпрацюванням методики застосування виконаного зонду сприяли подальшим дослідженням, завдяки їм була виведена кореляційна залежність (за даними зондування декількох будівельних майданів та подальшою статистичною обробкою результатів розрахунків), що й підтверджує наукову новизну даних досліджень та висвітлює перспективи практичного застосування розробленого зонду, спрямовуючи їх не тільки в будівництво, але й в напрямку відновлення та відбудови споруд різноманітного призначення. Перспективи застосування зондів, у тому числі – й у залізничному будівництві вже доказані, оскільки й під час будівництва колії визначаються райони або окремі ділянки, які представлені важкими ґрунтами, тобто проводяться роботи в умовах просідання ґрунту, зсувів (наприклад, під час будівництва Львівської та Одеської залізничних колій).

До того ж, за нашим дослідженням, отримані кореляційні залежності, що вживають під час розрахунків за даними зондування ґрунтів, надають можливість стежити за змінами у часі,

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

які спостерігаються при довготривалій експлуатації території розташування споруд, з отриманням практичних рекомендацій у випадках погіршення інженерно-геологічних умов або наступної забудови території.

Висновки

Проведені дослідження довели зручність та легкість в експлуатації динамічних малогабаритних зондів обох типів. Розраховані параметри ґрунту є достовірними і досить повно характеризують стан лесу в даних інженерно-геологічних умовах. Проте, щоб вдосконалити

висновки або поширити наші уявлення про поведінку лесів конкретного їх типу, необхідні неодноразові польові експерименти. Правильно проектуючи їх та маючи на увазі отримання не тільки рекомендацій з експлуатації даної території, необхідно проводити дослідження, з установкою на співвідношення їх результатів з даними інших випробувань. Відпрацювання методики, яка була запропонована у статті, слід вести в кількох напрямках та у різних інженерно-геологічних умовах, що може представити широкий матеріал для подальших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Болдырев, Г. Г. Испытание грунтов методом динамического зондирования. Ч. III / Г. Г. Болдырев // Инженерные изыскания. – 2011. – № 1. – С. 22–31.
2. Гончаров, Б. В. Использование динамического зондирования при обследовании оснований аварийных и реконструированных зданий / Б. В. Гончаров, Ф. З. Мухаметзянов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2005. – № 6. – С. 19–22.
3. Григорян, Е. Ю. Исследование свойств лессовых грунтов методами зондирования (на примере Северного Кавказа) : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.08 / Григорян Ерванд Юрьевич ; ОАО «ПНИИИС». – Ставрополь, 2007. – 21 с.
4. ДСТУ Б В.2.1-9-2002 (ГОСТ 19912-2001). Ґрунти. Методи польових випробувань статичним і динамічним зондуванням. – Введ. 2002–05–07. – Київ : Укрархбудінформ, 2002. – 21 с.
5. ДСТУ Б В.2.1-9-2016. Ґрунти. Методи польових випробувань статичним і динамічним зондуванням. – Введ. 2016–06–14. – Київ : УкрНДНЦ, 2017. – 22 с.
6. Зубкова, Н. Н. Использование малогабаритных зондов в практике инженерно-геологических исследований (на примере установки РЗГ-2) / Н. Н. Зубкова // Строительство – формирование среды жизнедеятельности : материалы IV Междунар. межвуз. науч.-практ. конф. / Моск. гос. строит. ун-т. – Москва, 2001. – С. 25–28.
7. Зубкова, Н. Н. Оценка качества результатов испытаний грунтов методами динамического и статического зондирования / Н. Н. Зубкова // Проблемы обеспечения экологической безопасности строительства : IV-е Денисовские чтения (Москва, 23–24 окт. 2008 г.) / Моск. гос. строит. ун-т. – Москва, 2000. – С. 128–131.
8. Методика испытаний грунтов универсальным динамическим зондом ЛИАТЭ / В. Л. Седин, В. Ю. Ульянов, Е. А. Бауск, Я. В. Ульянов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2016. – № 2. – С. 19–24.
9. Объект 2559 : отчет об инженерно-геологических изысканиях на площадке строительства жилого дома по ул. Жуковского, 33 в г. Днепропетровске / ГП «ДнепроГИИТИЗ». – Днепропетровск, 2014. – 230 с. – (Архив ГП «ДнепроГИИТИЗ»).
10. Ульянов, Я. В. Применение ручных забиваемых зондов при исследованиях грунтов строительных площадок / Я. В. Ульянов, В. Л. Седин, Е. М. Бикус // Будівельні конструкції : міжвідом. наук.-техн. зб. – Київ, 2016. – Вип. 83 (1). – С. 470–479.
11. Application of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) for determination of the engineering parameters of sandy soils / S. D. Mohammadi, M. R. Nikoudeh, M. Khamsehchiyan, H. Rahimi // Engineering Geology. – 2008. – Vol. 101. – Iss. 3–4. – P. 195–203. doi: 10.1016/j.enggeo.2008.05.006.
12. Kulhawy, F. H. Manual on estimating soil properties for foundation design : Report EL-6800 / F. H. Kulhawy, P. H. Mayne. – Palolto, USA : Electric Power Research Institute, 1990. – 250 p.
13. Livneh, M. The Effect of Vertical Confinement on the DCP Strength Values in Pavement and Subgrade Evaluations / M. Livneh, I. Ishai, N.A. Livneh // Transportation Research Record. – 1995. – Iss. 1473. – P. 1–8.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

14. Lunne, T. Cone penetration testing in geotechnical practice / T. Lunne, P. K. Robertson, J. J. M. Powell. – New York : Spon Press, 1997. – 312 p.
15. Soil Stiffness Gauge (SSG) and Dynamic Cone Penetrometer (DCP) tests for estimating engineering properties of weathered sandy soils in Korea / L. Changho , K. Kyu-Sun , W.Woo , W. Lee // Engineering Geology. – 2014. – Vol. 169. – P. 91–99. doi: 10.1016/j.enggeo.2013.11.010.
16. Ulianov, Y. V. Soil investigation by universal dynamic penetrometer LSNTPP / Наука і техніка: перспективи XXI століття : матеріали міжвуз. наук.-практ. конф. молодих вчених (1 грудня 2015 р.) // Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2015. – С. 78–79.
17. Zumrawi, M. M. E. Prediction of In-situ CBR of Subgrade Cohesive Soils from Dynamic Cone Penetrometer and Soil Properties / M. M. E. Zumrawi // International Journal of Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 6. – Iss. 5. – P.439–442. doi: 10.7763/ijet.2014.v6.738.

Я. В. УЛЬЯНОВ^{1*}

^{1*}Лаборатория исследований атомных и тепловых электростанций, Приднепровский научно-образовательный центр инновационных технологий в строительстве, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24 а, Днепро, Украина, 49600, тел. +38 (063)180 33 86, эл. почта t-vail^ulianov@ua.fm, ORCID 0000-0002-5575-4753

ИЗ ОПЫТА ПРОВЕДЕНИЯ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ РУЧНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ЗОНДАМИ РАЗНООБРАЗНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Цель. Для определения параметров грунтов лессовой формации, которые считаются трудными при строительстве или эксплуатации жилищных и промышленных сооружений, предусматривается анализ полученных данных полевых испытаний с тем, чтобы использовать их в расчетах для прогнозирования ситуации, которая может осложниться во время эксплуатации объектов. За главную цель исследования были выдвинуты: 1) усовершенствование наших представлений о грунтах лессовой формации на примере определения возможных изменений параметров лессовой толщи, которая находится под нагрузкой от полного веса сооружения; 2) отработка методики проведения зондирования путем внедрения улучшенных, с повышенными качествами, ручных зондов: сравнение данных этих исследований с теми, которые были получены другими методами; 3) определение путей дальнейшего проведения исследований с помощью ручных зондов.

Методика. Направления инженерно-геологических исследований были актуализованы с помощью методов анализа и синтеза, и в качестве инструментария было выполнено динамическое зондирование.

Результаты. Авторами были проанализированы данные динамического зондирования грунтов зондами типа ДИИТ-5 конструкции Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. Также проведено зондирование легким малогабаритным зондом типа ЛИАТЭ на объекте исследований, который находился в сложных инженерно-геологических условиях: на застроенной территории, грунты которой представлены лесами. Далее было определено динамическое сопротивление грунта зондированию и выведена формула зависимости между полученными показателями.

Научная новизна. Зондирование необводненных лессовых грунтов, которые составляют территорию строительства, проводилось впервые используемым зондом собственной разработки группы авторов, в том числе – и автора статьи. **Практическое значение.** Динамическое зондирование, которое приобрело значительное распространение во время инженерных исследований в строительстве 60–70 гг. прошлого века, в настоящее время используется редко, а для исследования лессовых грунтов в их разнообразных состояниях (обводненных, необводненных, нарушенных, ненарушенных и т. д.) практически не разработано. Поэтому выведение формул корреляции, которые подтверждают права на использование существующих формул и расчетных коэффициентов именно для лессовой толщи (а это около 90 % современных четвертичных грунтов Украины), представляется актуальной и новейшей темой.

Ключевые слова: динамическое зондирование; малогабаритный зонд; условное динамическое сопротивление; почвы лессовой формации

Y. V. ULYANOV^{1*}

^{1*}Research Laboratory of Nuclear and Thermal Power Plants, Prydniprovsk Research and Education Center for Innovative Technologies in Construction, Prydniprovsk State Academy of Construction and Architecture, Chernyshevskiy St., 24 a, Dnipro, Ukraine, 496000, tel. +38 (063)180 33 86, e-mail t-vail^ulyanov@ua.fm, ORCID 0000-0002-5575-4753

FROM EXPERIENCE OF CONDUCTING COMPARATIVE TESTS OF LOESS SOILS BY MANUAL DYNAMIC PROBES OF DIFFERENT CONSTRUCTIONS

Purpose. To determine the parameters of soils of loess formation, which are considered difficult in the construction or operation of housing and industrial facilities it is provided an analysis of the obtained field test data in order to use them in calculations to predict the situation, which can be complicated during operation of the facilities. The main purpose is: 1) improvement of our ideas about soils of loess formation using the example of determining possible changes in parameters of the loess mass, which is under load from the total weight of the structure; 2) testing the methodology of sounding by introducing improved manual probes: comparing the data of these studies with those obtained by other methods; 3) determination of the ways of further research using manual probes.

Methodology. The directions of engineering-geological research were updated with the help of analysis and synthesis methods. Dynamic sounding was performed as a tool. **Findings.** The authors analyzed the data of dynamic sounding of soils by probes of the type DIIT-5 made by the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (DNURT). Also, it was sounded the research object in difficult engineering-geological conditions: in a built-up area, the soil of which is represented by forests. The sounding was carried out using the small-sized LIATE probe. Further, the dynamic soil resistance to sounding was determined and the dependency formula between the obtained indices was derived. **Originality.** The sounding of the unwatered loess soils was carried out by light non-standard probe developed by the DNURT and, for comparison, by a self-developed probe of a group of authors, including the author of the article. The probe was used at the first time. **Practical value.** Dynamic sounding, which had spread significantly during engineering research in the construction of 60-70 years of the last century, is currently used rare. As for research of loess soils in their various states (watered, unwatered, disturbed and undisturbed, etc.) it is practically not developed. Therefore, the derivation of correlation formulas that confirm the rights to use existing formulas and design coefficients precisely for the loess mass (and this is about 90% of modern Quaternary soils of Ukraine) seems to be a topical subject.

Keywords: dynamic sounding; small-sized probe; conditional dynamic resistance; loess formation soils

REFERENCES

1. Boldyrev, G. G. (2011). Testing soils by penetration methods. Part III. *Inzhenernyye izyskaniya, 1*, 22-31. (in Russian)
2. Goncharov, B. V., & Mukhametzyanov, F. Z. (2005). Use of dynamic probing to inspect the beds of damaged and reconstructed buildings. *Soil Mechanics and Foundation Engineering, 6*, 19-22. (in Russian)
3. Grigoryan, Ye. Yu. (2007). *Issledovaniye svoystv lessovykh gruntov metodami zondirovaniya (na primere Severnogo Kavkaza)* (PhD thesis) (p. 21) OJSC «PNIIS», Stavropol. (in Russian)
4. Grunty. Metody polovykh vyprobuvan statychnym i dynamichnym zonduvanniam, DSTU B V.2.1-9-2002 (HOST 19912-2001) (2002). (in Ukrainian)
5. Grunty. Metody polovykh vyprobuvan statychnym i dynamichnym zonduvanniam, DSTU B V.2.1-9-2016 (2017). (in Ukrainian)
6. Zubkova, N. N. (2001). Ispolzovaniye malogabaritnykh zondov v praktike inzhenerno-geologicheskikh issledovaniy (na primere ustanovki RZG-2). *Stroitelstvo – formirovaniye sredey zhiznedeyatel'nosti: Proceedings of the IV International Inter-University Scientific and Practical Conference*, 25-28. (in Russian)
7. Zubkova, H. H. (2000). Otsenka kachestva rezultatov ispytaniy gruntov metodami dinamicheskogo i staticheskogo zondirovaniya: *IV Denisov's Readings Denisovskiy chteniya. Problemy obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti stroitelstva*, 128-131. (in Russian)
8. Sedin, V. L., Ul'yanov, V. Yu., Bausk, E. A., & Ul'yanov, Ya. V. (2016). Methods of soil testing by universal dynamic probe of LRN & T. *Bulletin of Prydniprovsk`ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, 2*, 19-24. (in Russian)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

9. *Obekt 2559 (otchet ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh na ploshchadke stroitelstva zhilogo doma po ul. Zhukovskogo, 33 v g. Dnepropetrovske)* (2014). Retrieved 2014, from Arkhiv GP «DneproGIINTIZ». (in Russian)
10. Ulyanov, Ya. V., Sedin, V. L., & Bikus, Ye. M. (2016). *Primeneniye ruchnykh zabivayemykh zondov pri issledovaniyakh gruntov stroitelnykh ploshchadok. Budivelni konstruktsii*, 83(1), 470-479. (in Russian)
11. Mohammadi, S. D., Nikoudel, M. R., Khamchayan, M., & Rahimi, H. (2008). Application of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) for determination of the engineering parameters of sandy soils. *Engineering Geology*, 101(3-4), 195-203. doi:10.1016/j.enggeo.2008.05.006. (in English)
12. Kulhawy, F. H., Mayne, P. H. & Kulhawy, F. H. (1990). *Manual on estimating soil properties for foundation design* (Report EL-6800). (in English)
13. Livneh, M., Ishai, I., & Livneh, N. A. (1995). The Effect of Vertical Confinement on the DCP Strength Values in Pavement and Subgrade Evaluations. *Transportation Research Record*, 1473, 1-8. (in English)
14. Lunne, T., Robertson, P. K., J. & Powell, J. M. (1997). *Cone penetration testing in geotechnical practice*. New York, NY: Spon Press. (in English)
15. Changho, L., Kyu-Sun, K., Woo, W., & Lee W. (2014). Soil Stiffness Gauge (SSG) and Dynamic Cone Penetrometer (DCP) tests for estimating engineering properties of weathered sandy soils in Korea. *Engineering Geology*, 169, 91-99. doi:10.1016/j.enggeo.2013.11.010. (in English)
16. Ulianov, Y. V. (2015). Soil investigation by universal dynamic penetrometer LSNTPP. *Nauka i tekhnika: perspektyvy XXI stolittia: Materialy mizhvuzivskoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh (I hrudnia 2015 r.)*. Prydniprovska derzhavna akademiia budivnytstva ta arkhitektury, (pp. 78-79). Dnipropetrovsk (in English)
17. Zumrawi, M. M. E. (2014). Prediction of In-situ CBR of Subgrade Cohesive Soils from Dynamic Cone Penetrometer and Soil Properties. *International Journal of Engineering and Technology*, 6(5), 439-442. doi:10.7763/ijet.2014.v6.738. (in English)

Стаття рекомендована до друку к.т.н., доц. К. Ц. Главацьким (Україна); д.т.н., проф. В. Л. Седіним (Україна)

Надійшла до редколегії: 09.08.2017

Прийнята до друку: 15.11.2017

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

UDC 565.2.071.1:005.963-028.42

J. KALIVODA¹, L. O. NEDUZHA^{2*}

¹Dep. «Automobiles, Combustion Engines and Railway Vehicles», Czech Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, Technická St., 4, Praha 6, Czech Republic, 16607, tel. +(420) 224 352 493, e-mail jan.kalivoda@fs.cvut.cz, ORCID 0000-0002-0278-2515

^{2*}Dep. «Theoretical and Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 373 15 11, e-mail nlorhen@i.ua, ORCID 0000-0002-7038-3006

ENHANCING THE SCIENTIFIC LEVEL OF ENGINEERING TRAINING OF RAILWAY TRANSPORT PROFESSIONALS

Purpose. Publication of the results of international scientific and technical cooperation of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (DNURT, Ukraine) and the Czech Technical University (CTU) in the field of engineering training of students on the basis of modern methods of development of scientific and creative abilities of students. **Methodology.** The development of scientific thought and the improvement of the professional level of students of engineering specialties of railway technical institutes may be carried out by different methods both during training and during extracurricular time. One of the methods for improving the scientific level of future engineers is the public lectures of renowned scholars and researchers from leading European higher education institutions, enabling students to have access to world-class advanced scientific idea. **Findings.** The authors have analyzed the activity of DNURT and CTU on scientific and educational preparation of students. It is emphasized that cooperation promotes strengthening of contacts between universities, improves the quality of students' training, is one of the factors of the professional development of future specialists, raising the scientific level of engineering training of railway transport professionals. It is proved that DNURT and CTU duly fulfill the higher education tasks of training of professional personnel who are able to work effectively in the global market, aimed at improving the quality and efficiency of education. **Originality.** This paper presents the analysis of results concerning the efficiency of application of modern methods for engineering training of students of technical higher educational institutions. It gives extended view of the main directions of international education activities. **Practical value.** It is confirmed that popularization of modern methods of propagation of engineering thought among student youth has acquired a new meaning and contributes to enhancing the scientific level of engineering training of railway transport professionals.

Key words: engineering training of students; popularization of scientific knowledge; international cooperation

Introduction

The development of transport, in particular railways, has a significant impact on the socio-economic life of any state. In Ukraine, the railways conduct a significant amount of transport work (share in the total turnover is more than 85% – Ukrainian railways occupy the fourth place in Eurasia and the sixth in the world by volume of transported goods, and in passenger traffic – 45%); 2% of the total working population of the state is

employed by rail transport. This confirms that the transport industry must move towards innovative changes, to increase its importance as an important transit subsystem on the way of updating not only infrastructure but also strategies for the development of all components of the transportation process, including working in conjunction with other modes of transport [1, 3, 10].

The analysis of the railway industry activity shows that Ukrzaliznytsia occupies a respectable position in the country's economy [1]. This is not without a significant role of graduates of the

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (DNURT) who study in the advanced scientific environment, in conditions of continuous improvement of professional skills and active, creative thinking since the university is the centre of scientific and technological support of the development of the railway industry. DNURT, since its foundation and to date, pays considerable attention to all aspects of student life: research and educational work, since a future railway engineer must possess not only professional knowledge and be a harmoniously developed person, but also have the opportunity to realize his intellectual potential, showing its individual peculiarity [7, 8]. But numerous aspects of joint international activity in the field of trainings of railway students have so far been underestimated due to a number of objective reasons.

Purpose

Publication of the results of international scientific and technical cooperation of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Ukraine) and the Prague Technical University (Czech Republic) in the field of engineering training of students on the basis of modern methods of development of scientific and creative abilities of students.

Methodology

The development of scientific thought and the improvement of the professional level of students of engineering specialties of railway technical institutes may be carried out by different methods both during training and during extracurricular time. One of the methods for improving the scientific level of future engineers is the public lectures of renowned scholars and researchers from leading European higher education institutions, enabling students to have access to world-class advanced scientific idea.

Findings

Let us consider the historical and methodological principles of the organization and the development of international scientific and technical cooperation of universities on the example of cooperation between the DNURT and the CTU.

In the 30s of the last century, when the process

of industrialization was rapidly gaining momentum and the problem of the lack of skilled engineers became aggravated, a whole network of new higher educational institutions arose, including our university. When creating the DITE (DNURT), it was considered that Dnipropetrovsk is an important transport hub, one of the centres for development of the coal-metallurgical complex. The first 190 engineers-graduates from DITE in 1934 filled up the ranks of specialists in the transport and construction sectors. According to the documents of that time, during their studies at the institute they underwent a serious theoretical training and acquired practical knowledge and skills [4–8]. At present, the following qualities of professional training of an engineer are highly appreciated: ability to establish contacts with people, art of communication, ability to achieve the set goals, competence, creativity, organizational skills, analytical thinking [7, 17]. The training of such a specialist is the urgent task of the university and should be conducted in the synchronous process and interaction of three components: special-professional, fundamental-research and humanitarian. Life expects of a student, future manager, a thorough knowledge of basic general scientific, technical, technological, and humanitarian disciplines [11].

Nowadays, the University has nine faculties in all mode of attendance, about seven thousand students study at the university (<http://diit.edu.ua/>) [4, 5]. DNURT is not only one of the leading technical higher education institutions, but also a powerful research institution in the field of rail transport and transport construction. [17–19]. One of the important tasks of the University is to increase the level of training of specialists, their competence, professional knowledge, computerization of training. The faculty wants the students to master deep special knowledge to meet the socio-economic and spiritual needs of the present day – to become a specialist capable of recognizing true engineering problems, setting complex technical tasks and finding new, highly effective solutions, implementing original technological developments [17–19].

Significant role in this is played by the Research Department (RD) of the University, which, among many activities, carries out the following (<http://diit.edu.ua/>) [8]:

– identification of priority and perspective directions of scientific research at the University;

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

– conducting internal and external expert evaluation of projects for carrying out scientific researches;

– organization of work on conclusion of contracts with domestic and foreign customers for the creation of scientific and technical products, the provision of scientific and technical services, marketing research;

– development of business proposals and business plans for the introduction of scientific research into production;

– defining the list of research and development works (R&D), which are promising for implementation in the region and industry;

– conducting fundamental and research studies on natural, social, humanitarian and technical sciences;

– conducting applied researches by orders of domestic and foreign enterprises, institutions, organizations, individuals and initiative RD on solving urgent tasks of scientific and technological development, etc.

To enable a modern specialist to meet the imperatives of our time, in the field of ensuring the connection of scientific research with the educational process, the RD organizes the scientific and technical activities of the students, conducting student competitions, student contests, scientific conferences, which affects the students' progress. The Ministry of Education and Science of Ukraine annually rewards the University for its high achievements in the field of scientific activity and international cooperation (<http://diit.edu.ua/>).

The Dnipropetrovsk National University named after academician V. Lazaryan (DNURT), in the process of entering into the European educational space, devotes much attention to the measures for the future railway engineers to possess not only professional knowledge, but to be a harmoniously developed person, to have the opportunity to realize their intellectual potential, showing their personal properties [7, 9]. In modern conditions, the University administration, among others, considers international activity as one of the priorities of working with students since international cooperation is an important direction for preparing a new generation of specialists in the framework of integration of our country into the world educational space. For this purpose, great attention is paid to the expansion of international contacts, the conclusion of agreements, the organization of interna-

tional conferences, symposiums, the implementation of joint scientific projects, the exchange of experience and information on common issues for higher education institutions [7, 17–19].

Over 90 years of its existence, DNURT is famous for its traditions and innovations [4, 5]. Special attention is paid to the direction of international cooperation with universities of other countries. An example of such cooperation is cooperation with the Czech Technical University (CTU) (<https://www.cvut.cz/>).

The Czech Technical University in Prague (CTU) is one of the largest and oldest technical universities in Europe. His history is closely intertwined with the history of technical education, not only in the Czech Republic, but throughout Central Europe [20]. It was founded on the initiative of Joseph Christian Willenberg on the basis of the order of January 18, 1707 by Emperor Joseph I (Fig. 1, *a*). The training began in 1718; however, it took next 100 years when the engineering professorship was recognized. In 1803, the emperor supported the proposal to turn the engineering and construction school into a polytechnic educational institution (Fig. 1, *b*).

A major event in the history of the educational institution was in 1863, when the first polytechnic specialists graduated from it. The training was now carried out in 4 specialties: hydraulic engineering and road construction, construction of ground structures, mechanical engineering and chemistry. The Czech language began to be used in the teaching process on a par with the German language. Conflicts between the Czech and German halves of the professorship led in 1869 to the division of universities into two separate institutions – the Czech and the German ones. For the Czech institution they built a building and since 1879 the university has received the right to be called technical [20].

Until the First World War, as well as the Czech industry as a whole, the university was developing rapidly resulting in the introduction of new disciplines, which was caused by the needs of society and accelerated technological development. In 1920, the university was renamed as the Czech Technical University, which already had 7 faculties: Engineering, Architecture and Ground-Mounted Construction, Machine and Electrical Engineering, Chemical Engineering, Mining, Forestry and Forest Engineering, Faculty of Special

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Sciences and Commercial Faculty. After the Second World War, a general reconstruction of the CTU took place – some departments became inde-

pendent institutions, the Faculty of Architecture was created in the 70s, and the Faculty of Transport – in the 90s [20].

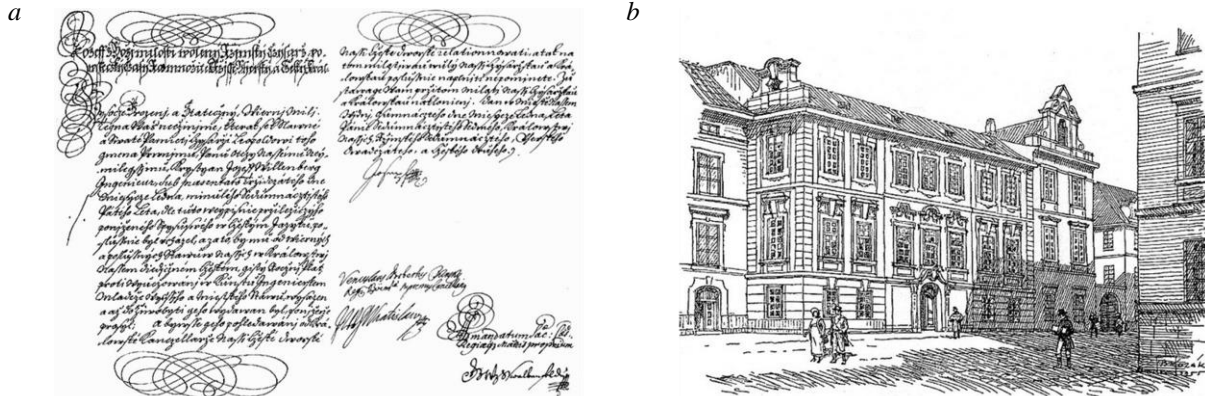


Fig. 1. General view:

a – Rescript of Emperor Joseph I; b – Prague Polytechnic

Specialists in the field of railway engineering acquire education at the Faculty of Civil Engineering – the Department of Railway Structures and the Faculty of Mechanical Engineering – Department of Automobile, Internal Combustion Engines and Rail Transport. The Independent Department of Railway Vehicles was founded in 1954. This event is inextricably linked with Professor R. Nejejsa – one of the most important personalities of Czechoslovak engineering, science, research and education. He is considered the founder of modern specialized university education in the field of construction of rail vehicles [16, 20].

At present, the CTU has eight faculties (Civil Engineering, Mechanical Engineering, Electrical Engineering, Nuclear Sciences and Physical Engineering, Architecture, Transportation Sciences, Biomedical Engineering, Information Technology), that comprehend more than 20,000 students. The University offers educational programs at three levels:

- three or four year undergraduate program, a Bachelor's Degree after graduation,
- biennial Master's Degree Program – Master's Degree,
- doctoral programs of study lasts three or four years and lead to the Ph.D. (candidate of sciences).

Students of the specialty «Railway Vehicles» acquire and deepen their knowledge in all technical areas, including technical mechanics, material strength, thermodynamics, theory of internal combustion engines, electrical engineering, mechanical and hydraulic gears, motor vehicle theory, etc.

Students acquire deep knowledge concerning the automated design system, numerical simulation of modern rolling stock, and the implementation of experiments in laboratories (Fig. 2) [2, 12–16, 18].

Project-oriented training focuses on the needs of the Czech railway industry in accordance with international standards and legislative requirements. As CTU successfully cooperates with leading global manufacturers of railway vehicles (such as Siemens, Skoda, VÚKV, Stadler, etc.), the companies offer students the subject of student and research projects (Fig. 3), graduation papers, training programs, targeted scholarships. Subsequently, graduates find work as researchers, developers, designers, test engineers and managers in the design, manufacture, testing and operation of railway vehicles [2, 12–16, 18].

During the 2016/17 academic year, CTU offered its students 123 curricula and 464 research areas within these programs (Erasmus Mundus, Erasmus Mundus External Window, Ceepus, Athens, Aktion, etc.). The Czech Technical University has contacts with other universities both in Europe and abroad, within which there are implemented joint programs for obtaining international diplomas. For example, in the 2016/17 academic year, the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan signed the cooperation agreement with the Czech Technical University, which will strengthen the contacts between our universities (<http://diit.edu.ua/>).

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

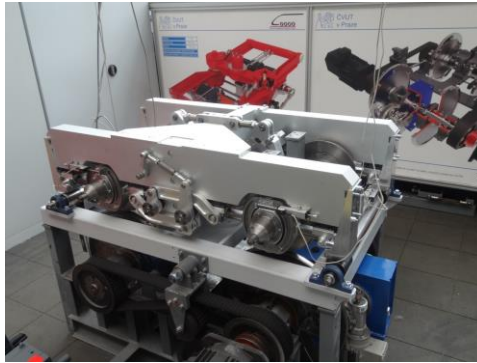


Fig. 2. Roller rig of CTU

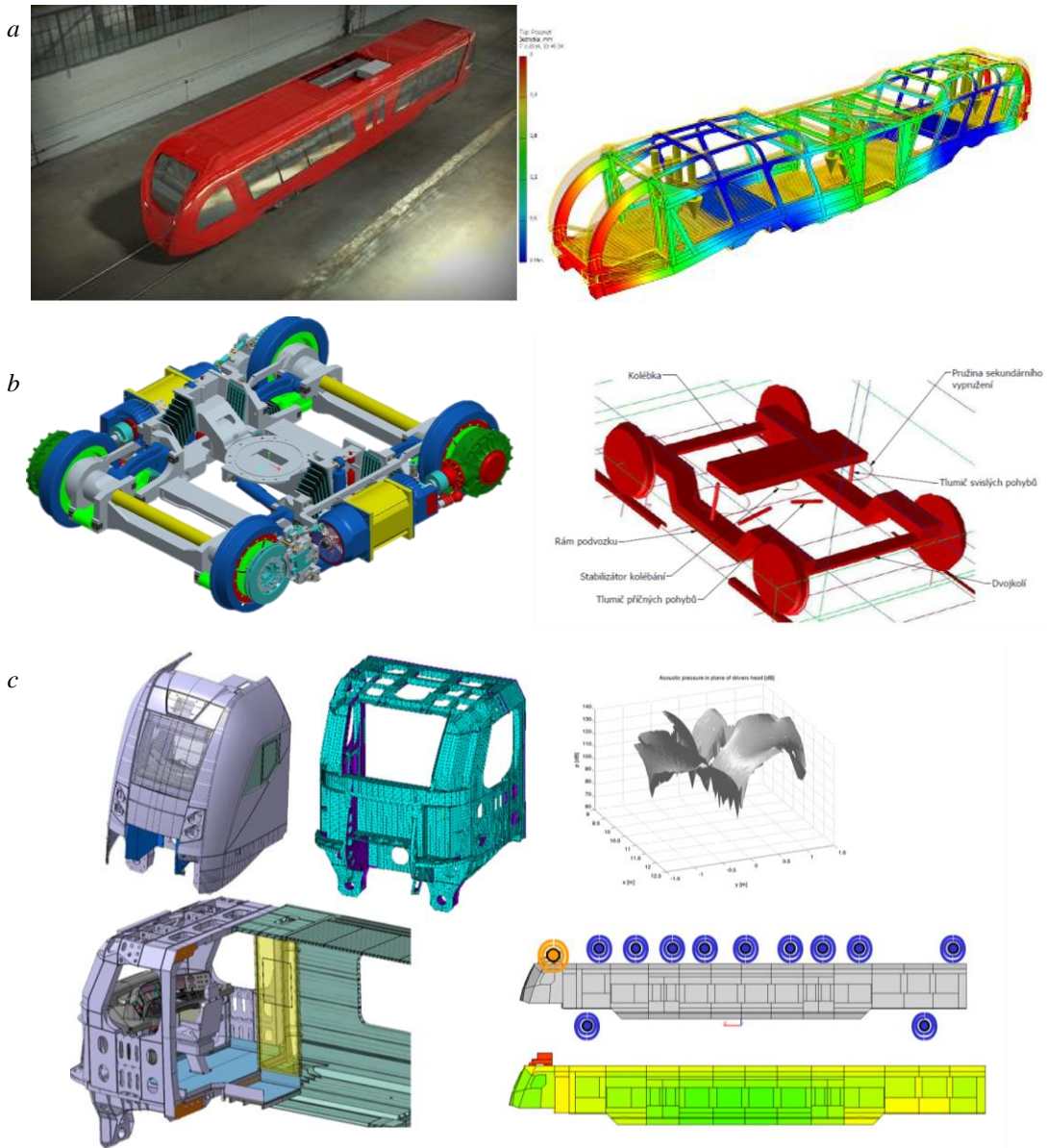


Fig. 3. Examples of some results of students' computer simulation projects:
 a – a railway bus; b – low-floor tram bogie; c – locomotive driver's cabin – noise analysis

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

In order for a modern specialist to meet the imperatives of our time, DNURT holds a number of events within the framework of international scientific cooperation (<http://diit.edu.ua/>). Recently one of such events took place – during the days of science at the Mechanical Faculty DNURT held a scientific lecture for undergraduates and graduates on the topic «Railway Vehicle Education in

the CTU» (<http://diit.edu.ua/>). The speaker was Dr. Kalivoda J. from the Czech Technical University. It is pleasant to note that in addition to students of mechanics, the participants also included students from the Faculty of Bridges and Tunnels, Energy Process Management, Organization of Railways Construction, Industrial and Civil Construction (Fig. 4) (<http://diit.edu.ua/>).



Fig. 4. Dr. Kalivoda J. with undergraduates and graduates of DNURT after scientific lecture



Fig. 5. S Undergraduates and graduates during a scientific lecture at DNURT

The scientific lecture was conducted on a high methodological, scientific, educational level, evoked a considerable interest on the part of the listeners. Dr. Kalivoda J. gave full professional answers to numerous questions. Here are just some reviews of participants in the scientific lecture in social networks (<http://diit.edu.ua/>):

– «The conference was held at the highest level with high professionalism and dedication. It allowed us to find out about the Czech Republic, its education and prospects for the development of rail transport...» (V. Babiy, group 339).

– «...You have prepared an international scientific meeting at the scientific level. Thanks to you,

we have learned how today's students are studying outside of our glorious Ukraine and how highly the diploma of DNURT is recognized at the international arena. Such meetings are very useful for us as future specialists. Thank you!» (O. Krasnoshchok, group 347).

Originality and practical value

This work presented the analysis of results concerning the efficiency of application of modern methods for engineering training of students of technical higher educational institutions. It

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

extended view of the main directions of international education activities.

It was confirmed that popularization of modern methods of propagation of engineering thought among student youth has acquired a new meaning and contributes to enhancing the scientific level of engineering training of railway transport professionals.

Conclusions

This confirms that international cooperation promotes strengthening of contacts between universities, improves the quality of students' training, is one of the factors of the professional develop-

ment of future specialists, raising the scientific level of engineering training of railway transport specialists. As you can see, the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan and the Czech Technical University adequately fulfil the new tasks set before higher education – training of professional personnel who are able to work effectively in a global market, aimed at improving the quality and efficiency of education.

The authors of the paper express their gratitude to Doctor of Science, Professor S. V. Myamlin for consulting in the preparation of the article.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Вантажні перевезення у січні-жовтні 2017 року [Electronic resource]. – Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua/>. – Title from the screen. – Accessed : 23.11.2017.
2. Калівода, Я. Досвід експериментальних досліджень рухомого складу з використанням стендового обладнання / Я. Калівода, Л. Недужа // Вагонний парк. – 2017. – № 3-4. – С. 28–30.
3. Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту [Electronic resource] : розпорядження КМУ від 27.12.2006 р. № 651-р. – Available at: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/651-2006-%D1%80>. – Title from the screen. – Accessed : 23.11.2017.
4. Куліш, А. І. Використання історико-краєзнавчого матеріалу в процесі підготовки інженерів / А. І. Куліш // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф. (11.10–12.10.2007 р.) / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – С. 147–148.
5. Куліш, А. І. Легенди ДПТУ / А. І. Куліш. – 2-е вид., переробл. та доп. – Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – 659 с.
6. Мямлін, С. В. Ретроспективний аналіз формування научного потенціала Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна / С. В. Мямлін, І. В. Агиенко // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 2 (56). – С. 7–38. doi: 10.15802/stp2015/42158.
7. Мямлін, С. В. Роль студентської науки у формуванні світогляду інженера-механіка / С. В. Мямлін, Л. О. Недужа // Локомотив-інформ. – 2015. – № 1-2. – С. 55–57.
8. Пшінько, О. М. Наукове супроводження розвитку залізничної галузі та підготовка кадрів Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна / О. М. Пшінько, С. В. Мямлін // Вагонний парк. – 2011. – № 7. – С. 56–59.
9. Чайка-Петегірич, Л. Міжнародна співпраця університетів як невід'ємна складова трансформації вищої школи України у європейський освітній простір / Л. Чайка-Петегірич // Галицький економ. вісн. – 2014. – № 2 (45). – С. 45–50.
10. Швайка, Л. А. Державне регулювання економіки : навч. посіб. / Л. А. Швайка. – Київ : Знання, 2006. – 435 с.
11. Шевченко, О. Ю. Особистісно орієнтований підхід в управлінні гуманітарною підготовкою у вищих навчальних закладах технічного профілю / О. Ю. Шевченко // Наук. пр. Вищ. навч. закладу «Донецький нац. техн. ун-т». Серія: Педагогіка, психологія і соціологія. – Донецьк, 2010. – Вип. 7. – С. 138–142.
12. Facchinetti, A. Rolling Stock Dynamic Evaluation by Means of Laboratory Tests / A. Facchinetti, S. Bruni, W. Zhang // Intern. Journal of Railway Technology. – 2013. – Vol. 2. – Iss. 4. – P. 99–123. doi: 10.4203/ijrt.2.4.6.
13. Goodall, R. M. Concepts and prospects for actively controlled railway running gear / R. M. Goodall, S. Bruni, T. X. Mei // Vehicle System Dynamics. – 2006. – Vol. 44. – Iss. suppl. – P. 60–70. doi: 10.1080/00423110600867374.

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

14. Kalivoda, J. Roller rig testing at the Czech technical university / J. Kalivoda, P. Bauer // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 4 (64). – С. 125–133. doi: 10.15802/stp2016/77994.
15. Kalivoda, J. Scaled Roller Rig Experiments with a Mechatronic Bogie / J. Kalivoda, P. Bauer // Research, Development and Maintenance : Proc. of the Second Intern. Conf. on Railway Technology. – Stirlingshire, UK, 2014. – P. 317. doi: 10.4203/ccp.104.317.
16. Kolář, J. Prof. Ing. Robert Nejejsa, DrSc (1906–1985) [Electronic resource] / J. Kolář, V. Smutný. – Prague : CTU, 2011. – 40 p. – Available at: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prof-ing-robert-nejejsa-drsc-1906-1985.html>. – Title from the screen. – Accessed : 04.12.2017.
17. Myamlin, S. V. Development of scientific school of transport mechanics: artistic legacy of Ye. P. Blokhin / S. V. Myamlin, T. A. Kolesnykova // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 1 (49). – С. 7–21. doi: 10.15802/stp2014/22657.
18. Myamlin, S. Testing of Railway Vehicles Using Roller Rigs / S. Myamlin, J. Kalivoda, L. Neduzha // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 187. – P. 688–695. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.439.
19. Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars / S. Myamlin, O. Lunys, L. Neduzha, O. Kyryl'chuk // Proc. of 21st Intern. Sci. Conf. Transport Means. – Kaunas, 2017. – P. 973–976.
20. Historie [Electronic resource] // České Vysoké Učení Technické V Praze : [Web site]. – Available at: <https://www.cvut.cz/historie>. – Title from the screen. – Accessed : 23.10.2017.

Я. КАЛІВОДА¹, Л. О. НЕДУЖА^{2*}

¹Каф. «Автомобілі, двигуни внутрішнього згорання та залізничний транспорт», факультет машинобудування, Чеський технічний університет, вул. Технічна, 4, Прага 6, Чеська республіка, 16607, тел. + (420) 224 352 493, ел. пошта jan.kalivoda@fs.cvut.cz, ORCID 0000-0002-0278-2515

^{2*}Каф. «Теоретична та будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 776 84 98, ел. пошта nlorhen@i.ua, ORCID 0000-0002-7038-3006

ПІДВИЩЕННЯ НАУКОВОГО РІВНЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Мета. Оприлюднення результатів міжнародного науково-технічного співробітництва Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ, Україна) та Чеського технічного університету (ЧТУ, Чеська республіка) в галузі інженерної підготовки студентів на базі сучасних методів розвитку наукових та творчих здібностей студентів. **Методика.** Розвиток наукової думки та підвищення професійного рівня студентів машинобудівних спеціальностей технічних вищих навчальних закладів залізничного напрямку можливо здійснювати різними методами як під час навчання, так і факультативно, у позанавчальний час. Одним із методів підвищення наукового рівня майбутніх інженерів є публічні лекції відомих науковців та дослідників із провідних європейських вищих навчальних закладів, що дає можливість студентам мати доступ до передової наукової думки світового рівня. **Результати.** Наведено аналіз діяльності ДНУЗТ та ЧТУ з науково-освітньої підготовки студентів. Підкреслено, що міжнародна співпраця сприяє укріпленню контактів між університетами, поліпшує якість навчання студентів, є одним із чинників їх професійного становлення та підвищення наукового рівня інженерної підготовки фахівців залізничного транспорту. Доведено, що ДНУЗТ та ЧТУ гідно виконують поставлені вищою освітою завдання з підготовки професійних кадрів, які зможуть ефективно працювати в умовах глобального ринку, що спрямовані на підвищення якості, ефективності освіти. **Наукова новизна.** Виконано аналіз результатів ефективності застосування сучасних методів інженерної підготовки студентів технічних вищих навчальних закладів. Розширено уявлення про основні напрямки міжнародної діяльності в галузі освіти. **Практична значимість.** Підтверджено, що популяризація сучасних методів, поширення інженерної думки серед студентської молоді набуло нового значення та сприяє підвищенню наукового рівня інженерної підготовки фахівців залізничного транспорту.

Ключові слова: інженерна підготовка студентів; популяризація наукових знань; міжнародна співпраця

Я. КАЛИВОДА¹, Л. А. НЕДУЖАЯ^{2*}

¹Каф. «Автомобілі, двигатели внутреннего сгорания и железнодорожный транспорт», факультет машиностроения, Чешский технический университет, ул. Техническая, 4, Прага 6, Чехия, 16607, тел. + (420) 224 352 493, эл. почта jan.kalivoda@fs.cvut.cz, ORCID 0000-0002-0278-2515

²Каф. «Теоретическая и строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел./факс + 38 (056) 373 15 11, эл. почта nlorhen@i.ua, ORCID 0000-0002-7038-3006

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Цель. Обнародование результатов международного научно-технического сотрудничества Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДНУЖТ, Украина) и Чешского технического университета (ЧТУ, Чешская республика) в области инженерной подготовки студентов на базе современных методов развития научных и творческих способностей студентов. **Методика.** Развитие научной мысли и повышение профессионального уровня студентов машиностроительных специальностей технических вузов железнодорожного направления возможно осуществлять различными методами как во время обучения, так и факультативно, во внеучебное время. Одним из методов повышения уровня будущих инженеров есть публичные лекции известных ученых и исследователей из ведущих европейских высших учебных заведений, что дает возможность студентам иметь доступ к передовой научной мысли мирового уровня. **Результаты.** Приведен анализ деятельности ДНУЖТ и ЧТУ по научно-образовательной подготовке студентов. Подчеркнуто, что международное сотрудничество способствует укреплению контактов между университетами, повышает качество обучения студентов, является одним из факторов их профессионального становления, повышения уровня инженерной подготовки специалистов железнодорожного транспорта. Доказано, что ДНУЖТ и ЧТУ достойно выполняют поставленные высшим образованием задачи по подготовке профессиональных кадров, которые смогут эффективно работать в условиях глобального рынка, направленных на повышение качества, эффективности образования. **Научная новизна.** Выполнен анализ результатов эффективности применения современных методов инженерной подготовки студентов технических высших учебных заведений. Расширено представление об основных направлениях международной деятельности в области образования. **Практическая значимость.** Подтверждено, что популяризация современных методов, распространение инженерной мысли среди студенческой молодежи приобрело новое значение и способствует повышению научного уровня инженерной подготовки специалистов железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: инженерная подготовка студентов; популяризация научных знаний; международное сотрудничество

REFERENCES

1. Vantazhni perevezennia u sichni-zhovtni 2017 roku. (undated). Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua/>. (in Ukrainian)
2. Kalivoda, J., & Neduzha, L. O. (2017). Dosvid eksperymentalnykh doslidzen rukhomoho skladu z vykorystanniam stendovoho obladnannia. *Car Fleet*, 3-4, 28-30. (in Ukrainian)
3. The Kabinet of Ministers of Ukraine. (2006, December 27). *Resolution No. 651-r «Kontseptsia derzhavnoi prohramy reformuvannia zaliznychnoho transportu»*. (in Ukrainian)
4. Kulish, A. I. (2007). Vykorystannia istoriko-kraieznavchoho materialu v protsesi pidhotovky inzheneriv. In *Bridges and tunnels: theory, research studies & practice: Abstracts of the International Scientific & Practical Conference* (pp.147-148). Dnipropetrovsk: Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. (in Ukrainian)
5. Kulish, A. I. (2010). *Lehendy DII Tu*. Dnipropetrovsk: Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. (in Ukrainian)
6. Myamlin, S. V. & Ahienko, I. V. (2015). Retrospective analysis of the scientific potential formation of Dnipropetrovsk national university of railway transport named after Academician V. Lazaryan. *Science and Transport Progress*, 2(56), 7-38. doi: 10.15802/stp2015/42158. (in Russian)

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

7. Myamlin, S. V., & Neduzha, L. O. (2015) Rol studentskoi nauky u formuvanni svitohliadu inzhenera-mekhanika. *Lokomotyv-inform*, 1-2, 55-57. (in Ukrainian)
8. Pshinko, O. M., & Myamlin, S. V. (2011). Naukove suprovodzhennia rozvytku zaliznychnoi haluzi ta pidhotovka kadriv Dnipropetrovskym natsionalnym universytetom zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana. *Car Fleet*, 7, 56-59. (in Ukrainian)
9. Chaika-Petehyrych, L. (2014). Mizhnarodna spivpratsia universytetiv yak nevidiemna skladova transformatsii vyshchoi shkoly Ukrainy u yevropeyskyi osvittii prostir. *Galician economic bulletin*, 45(2), 45-50. (in Ukrainian)
10. Shvaika, L. A. (2006). *Derzhavne rehuliuвання ekonomiky: Navchalnyi posibnyk*. Kyiv: Znannia.
11. Shevchenko, O. Yu. (2010). Osobystisno oriientovanyi pidkhid v upravlinni humanitarnoiu pidhotovkoiu u vyshchikh navchalnykh zakladakh tekhnichnoho profilu. *Proceedings of State Higher Educational Institution «Donetsk National Technical University». Series: Pedagog, Psychology and Sociology*, 7, 138-142. (in Ukrainian)
12. Facchinetti, A., Bruni, S., & Zhang, W. (2013). Rolling Stock Dynamic Evaluation by Means of Laboratory Tests. *International Journal of Railway Technology*, 2(4), 99-123. doi: 10.4203/ijrt.2.4.6. (in English)
13. Goodall, R. M., Bruni, S., & Mei, T. X. (2006). Concepts and prospects for actively controlled railway running gear. *Vehicle System Dynamics*, 44(1), 60-70. doi: 10.1080/00423110600867374. (in English)
14. Kalivoda, J., & Bauer, P. (2016). Roller rig testing at the Czech technical university. *Science and Transport Progress*, 4(64), 125-133. doi: 10.15802/stp2016/77994. (in English)
15. Kalivoda, J., & Bauer, P. (2014). Scaled Roller Rig Experiments with a Mechatronic Bogie. *Proceedings of the Second Intern. Conf. on Railway Technology: Research, Development and Maintenance*, 317, 12 p. doi: 10.4203/ccp.104.317. (in English)
16. Kolář, J., Nejepsa, R., & Smutný, V. (2011). *CTU in Prague 2011*. Retrieved from http://kdm.uniza.sk/files/brozura_profnejepsa.pdf. (in English)
17. Myamlin, S. V., & Kolesnykova, T. A. (2014). Development of scientific school of transport mechanics: artistic legacy of Ye. P. Blokhin. *Science and Transport Progress*, 1(49), 7-21. doi: 10.15802/stp2014/22657. (in English)
18. Myamlin, S., Kalivoda, J., & Neduzha, L. (2017). Testing of Railway Vehicles Using Roller Rigs. *Procedia Engineering*, 187, 688-695. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.439. (in English)
19. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. *Proceedings of 21st International Scientific Conference Transport Means*, 973-976. (in English)
20. Historie. (undated). *České Vysoké Učení Technické V Praze*. Retrieved from <https://www.cvut.cz/historie>. (in Czech)

Prof. V. L. Horobets, Dr. Sc (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Aug. 09, 2017

Accessed: Nov. 15, 2017

Тематичний показник журналу «Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна» за 2017 рік

Назва статті	№ журналу	Стор.
Видатні події		
Транспортній академії України – 25 років.	2	7
Автоматизовані системи управління на транспорті		
Застосування перетворення Фур'є і вейвлет-перетворення для дешифрації коду АЛСН. <i>О. О. Гололобова, В. І. Гаврилюк</i>	1	7
Дослідження розповсюдження потенціалів уздовж рейок. <i>К. І. Яциук</i>	4	7
Екологія на транспорті		
Розрахунок динаміки забруднення приміагістральної території під час перевезення вугілля. <i>М. М. Біляєв, М. О. Оладіно</i>	1	18
Зниження інтенсивності винесення вугільного пилу шляхом використання спеціального розчину. <i>М. М. Біляєв, А. О. Карпо, З. М. Якубовська</i>	2	8
Підсистема моделей екологічного моніторингу для оцінки стану атмосферного повітря. <i>С. З. Поліщук, В. Ю. Каспійцева</i>	2	16
Чисельне моделювання забруднення повітря в разі раптового викиду аміаку. <i>Л. В. Амеліна, М. М. Біляєв</i>	3	7
Прогноз забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту з урахуванням хімічної трансформації шкідливих речовин. <i>М. М. Біляєв, О. С. Славінська, Р. В. Кириченко</i>	3	15
Зниження концентрації аміаку в атмосфері при його раптовій емісії. <i>Л. В. Амеліна, М. М. Біляєв, П. Б. Машихіна</i>	4	16
Чисельне моделювання розповсюдження забруднення на міській вулиці. <i>М. М. Біляєв, О. С. Славінська, Р. В. Кириченко</i>	4	23
Водні реалії в Україні та світі. <i>Л. Ф. Долина, П. Б. Машихіна, А. О. Карпо, А. А. Міщенко</i>	5	7
Економіка та управління		
Економіко-правове обґрунтування інвестицій у розвиток транспортної інфраструктури. <i>В. В. Железняк</i>	1	27
Реформування та реструктуризація Укрзалізниці: ключове завдання для українських реформаторів. <i>Р. Піттман</i>	1	34
Застосування регіональних відновлювальних біоресурсів для роботи системи тепlopостачання. <i>О. М. Пішінько, В. О. Габрінець, В. Г. Кузнєцов</i>	1	51
Аналіз використання методів прийняття рішень у проектному менеджменті. <i>І. В. Трифонов, І. А. Корхіна</i>	1	63
Представлення найбільш потужної залізниці ЄС та підтримка її роботи за допомогою економічного аналізу. <i>Б. Фаркас</i>	2	25

Назва статті	№ журналу	Стор.
Розвиток системи перевезення вантажів по автомобільній дорозі на основі принципів логістики. <i>І. М. Царенкова</i>	5	19
Експлуатація та ремонт засобів транспорту		
Формалізація параметра напруженості діяльності машиніста локомотива на основі ергономічної моделі. <i>О. М. Горобченко, А. О. Антонович</i>	1	70
Підвищення міжремонтного ресурсу візків вантажних вагонів. Модель геометрії зносу підп'ятника. <i>Л. А. Мурадян, Д. О. Подосьонов</i>	1	79
Перспективи поліпшення технічного стану вагонного парку на залізницях України. <i>О. В. Пономаренко</i>	1	88
Вибір оптимальних параметрів вимірювання частоти обертання вала гідравлічної передачі тепловоза з використанням мікроконтролера. <i>І. В. Жуковицький, І. А. Ключник</i>	2	36
Методика створення інтелектуальної автоматизованої системи управління доставкою вантажів на залізниці. <i>Г. І. Кириченко</i>	2	46
Створення експортно-орієнтованої мережі елеваторів в Україні. <i>Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р. Ш. Рустамов</i>	2	56
Проблеми організації пасажирських перевезень на залізницях США. <i>Р. Г. Коробйова</i>	2	71
Оцінка рівня відповідності локомотиворемонтного виробництва. <i>Ю. М. Дацун</i>	3	23
Визначення рамної сили електровоза ВЛ80 при русі на кривих ділянках колії. <i>А. Я. Кузишин</i>	3	32
Моделювання процесів накопичення вагонів для вирішення завдань оперативного планування в умовах невизначеності вихідної інформації. <i>О. А. Терещенко</i>	3	45
Визначення допустимої швидкості руху поїзда з примусовим нахилом кузова в кривих ділянках колії. <i>М. І. Каница, Д. В. Бобирь, А. Є. Десяк</i>	4	29
Дослідження енергообмінних процесів під час штатних умов експлуатації рухомого складу метрополітену з системами рекуперації. <i>А. О. Сулим, С. О. Мужичук, П. О. Хозя, О. О. Мельник, В. В. Федоров</i>	5	28
Перспективи використання приватних локомотивів для перевезення вантажів у напрямку морських портів. <i>Д. М. Козаченко, О. Б. Очкасов, А. П. Шепотенко, Н. М. Санницький</i>	6	7
Побудова механічної моделі вагона дизель-поїзда ДПКр-2 та її особливості. <i>А. Я. Кузишин, А. В. Батіг</i>	6	20
Розширення цілей практичного застосування технічного аудиту на підприємствах залізничного транспорту. <i>А. М. Окороков, М. О. Булах</i>	6	30
Електричний транспорт		
Вибір раціональних параметрів номінального режиму електровозів. <i>Г. К. Гетьман, С. Л. Марікуца</i>	1	96
Апроксимація універсальної магнітної характеристики для моделювання тягових електричних машин. <i>А. Ю. Друбецький</i>	1	106

Назва статті	№ журналу	Стор.
Вплив натиснення контактів контакторів у силових колах електрорухомого складу на їх пластичну деформацію та плавлення. <i>О. Ю. Балійчук, Л. В. Дубинець, О. Л. Маренич, Д. В. Устименко</i>	2	81
Вибір раціональних параметрів номінального режиму електропоїздів із асинхронним тяговим приводом. <i>Г. К. Гетьман, С. Л. Марікуца</i>	3	56
Розрахунок магнітних характеристик тягового електродвигуна за допомогою вдосконаленої універсальної магнітної характеристики. <i>А. Ю. Друбецький</i>	3	66
Система автоматизованого вибору швидкісного режиму руху засобів електротранспорту з метою зменшення витрат електроенергії. <i>К. О. Сорока, Т. П. Павленко, Д. О. Личов</i>	3	77
Підвищення ефективності роботи електровиводу постійного струму на основі використання суперконденсаторних накопичувачів електроенергії. <i>А. М. Муха, М. О. Костін, О. Я. Куриленко, Г. В. Ципля</i>	5	48
Залізнична колія		
Прогнозування пасажирських перевезень при впровадженні високошвидкісного руху поїздів. <i>М. Б. Курган, Д. М. Курган</i>	1	117
Про поверхнєве руйнування головок залізничних рейок. <i>О. П. Дацишин, Г. П. Марченко, А. Ю. Глазов</i>	4	41
Врахування аеродинамічного впливу при встановленні максимально-передбачених швидкостей руху високошвидкісного потягу. <i>С. Т. Джаббаров</i>	5	61
Представлення залізничної колії в математичній моделі руху екіпажів. <i>М. Б. Курган, Д. М. Курган</i>	6	40
Інформаційно-комунікаційні технології та математичне моделювання		
Проблеми виявлення плагіату та аналіз інструментального програмного забезпечення для їх вирішення. <i>В. І. Шинкаренко, О. С. Куроп'ятник</i>	1	131
Моделювання перехідної кривої на обмеженій ділянці місцевості. <i>В. Д. Борисенко, С. А. Устенко</i>	2	92
Система підтримки академічної чесності для українських університетів. <i>В. Г. Шерстюк, М. В. Жарікова</i>	2	101
Сценарно-прецедентний підхід до управління гетерогенним ансамблем динамічних об'єктів. <i>В. Г. Шерстюк, І. В. Сокол, К. М. Тарасенко</i>	2	110
Математична модель для визначення показників тягово-транспортних засобів. <i>А. Ф. Головчук</i>	3	92
Створення ІТ-орієнтованого онтологічного фреймворку для цілей формування освітніх програм на основі компетентностей. <i>Г. М. Коротенко, Л. М. Коротенко, А. Т. Харь</i>	4	50
Матеріалознавство		
Особливості мікроструктури хромо-нікелевого покриття, наплавленого порошковою стрічкою ПЛ АН-111 із 50 % перекриттям. <i>О. Г. Белік, Б. В. Єфременко, С. Л. Макуров</i>	2	120
Композиційне імпульсно-плазмове покриття «сталь Р18/чавун 230Х28Г3». <i>Ю. Г. Чабак, Т. В. Пастухова, В. Г. Єфременко, І. О. Вакуленко, І. О. Волосенко</i>	3	102
Вплив хімічного складу чавуну на розподіл Cr поміж фазами після відпалу при 690 °С. <i>В. В. Нетребко, І. П. Волчок</i>	4	60

Назва статті	№ журналу	Стор.
Вплив структурних параметрів низьковуглецевої сталі на горіння електричної дуги. <i>І. О. Вакуленко, С. О. Плітченко, Н. Г. Мурашова</i>	5	71
Нетрадиційні види транспорту. Машини та механізми		
Якісний аналіз залежності потужності приводу стрічкового горизонтально-похилого конвеєра від його вихідних параметрів. <i>В. М. Богомаз, М. В. Боренко, І. В. Нечай, О. П. Северин</i>	1	143
Визначення конструктивних параметрів шарнірно-зчленованих стрілових систем порталних кранів. <i>В. В. Суглобов, К. В. Ткачук</i>	1	156
Динаміка віброживильників із нелінійною пружною характеристикою. <i>В. І. Дирда, Ю. М. Овчаренко, С. В. Ракша, О. А. Черній</i>	2	131
Підвищення ремонтпридатності муфт енергетичних установок засобів транспорту застосуванням канатних пружних елементів. <i>В. О. Проценко, О. Ю. Клементьєва</i>	2	140
Проектування розгортних поверхонь деталей складної форми. <i>С. С. Тищенко, А. В. Краснюк, Т. В. Ульяченко, А. С. Щербак</i>	2	148
Експериментальні дослідження динаміки відцентрової ливарної машини для виробництва прокатних валків. <i>П. Г. Анофрієв</i>	3	112
Співвідношення між жорсткісними втратами та втратами в підшипниках канатних блоків. <i>В. М. Богомаз, Л. М. Бондаренко, М. В. Очеретнюк, О. О. Ткачов</i>	4	71
Вплив лопатевих та профільних характеристик на гідродинамічну ефективність гребних гвинтів. <i>Ю. М. Король, О. Н. Корнелюк</i>	4	80
Визначення еквівалентного та оптимального діаметрів конічно-циліндричного наконечника з виступами для проколювання ґрунту. <i>С. В. Кравець, О. П. Посмітюха, В. М. Супонєв</i>	4	89
Пружна нелінійна динаміка руху супорта карусельного верстата для обробки суцільнокатаних залізничних коліс. <i>Р. П. Погребняк</i>	4	98
Промисловий транспорт		
Інтенсифікація теплообміну у високотемпературному киплячому шарі. <i>А. О. Редько, І. О. Редько</i>	5	79
Рухомий склад і тяга поїздів		
Удосконалення несучої конструкції вагона-платформи для підвищення ефективності контейнерних перевезень. <i>А. О. Ловська</i>	1	167
Міцність бічної рами трьохелементного візка. <i>О. А. Шикунів</i>	1	183
Розподілене зовнішнє поверхнєве зміцнення вагонних конструкцій методом навивання. <i>О. В. Фомін, А. А. Стецько, В. Є. Осмак</i>	2	156
Вибір конструктивних рішень елементів вагонів із малою масою тари. <i>Ю. П. Бороненко, І. О. Філіпова</i>	3	121
Особливості конструкції ходових частин тягового рухомого складу. <i>С. В. Мямлін, О. Луніс, Л. О. Недужа</i>	3	130
Експериментальна оцінка спектрів ударного відгуку рухомого складу. <i>О. В. Третяков, О. О. Третяков, М. В. Зімакова, А. А. Петров</i>	3	147

Назва статті	№ журналу	Стор.
Способи управління інертністю опалення. <i>Е. В. Білошицький</i>	4	106
Теоретичний базис параметричного синтезу несучих систем вагонів. <i>О. В. Фомін, О. М. Горобченко, Н. С. Кочешкова, В. В. Коваленко</i>	4	117
Модель підвищення магнітолевітуючого поїзда. <i>В. О. Поляков, М. М. Хачапурідзе</i>	5	91
Методика побудови динамічної моделі руху багатомасових систем. <i>О. Г. Рейдемейстер, В. О. Калашник, О. А. Шкунов</i>	5	99
Визначення навантаженості контейнерів у складі комбінованих поїздів при перевезенні залізничним поромом. <i>А. О. Ловська</i>	6	49
Залежність величини зносу пари тертя «п'ятник – підп'ятник» від пробігу вантажного вагона. <i>Л. А. Мурадян, Д. О. Подосьонов, В. Ю. Шапошник</i>	6	61
Вдосконалення математичних моделей для оцінки динаміки поїзда. <i>Л. В. Урсуляк, А. О. Швець</i>	6	70
Транспортне будівництво		
Дослідження деформаційних характеристик ґрунтового матеріалу з використанням відходів. <i>Л. В. Трикоз, В. Ю. Савчук</i>	2	166
Деформаційно-напружений стан вузла поверхового сполучення балок проїзної частини залізничного моста. <i>С. В. Ключник</i>	3	160
Визначення та ранжування організаційно-технологічних чинників, що обумовлюють раціональні рішення з'єднання арматури. <i>А. В. Радкевич, А. М. Нетеса</i>	3	171
Побудова проміжної опори моста як параметричного об'єкта за допомогою Autodesk Revit. <i>К. І. Гладка, Н. П. Бочарова</i>	4	129
Динаміка розвитку, сутність та галузь застосування просторових структурно-вантових сталезалізобетонних конструкцій. <i>Г. М. Гасій</i>	5	107
Взаємодія ґрунтоцементних пальових підпірних конструкцій із тілом зсуву. <i>Д. Ю. Ігнатенко, В. Д. Петренко, А. Л. Тют'єкін</i>	5	115
Динамічна поведінка двупрогонних нерозрізних залізобетонних прогонів під впливом руху швидкісних поїздів. <i>О. Г. Мариніченко</i>	5	124
Особливості проектування комбінованих арочних мостів із гнучкими похилими підвісками. <i>В. О. Самосват, Чжан Ронлін, О. О. Гололобова, С. Ю. Буряк</i>	5	131
Дослідження гідравлічного впливу на технологічну стійкість метротунелю мілкового закладання в намівних масивах. <i>С. М. Стівник, А. Л. Ган, Є. А. Загоруйко, Л. В. Шайдецька</i>	5	141
Особливості золи теплових електростанцій як заповнювача для бетонів. <i>М. А. Сторожук, Т. М. Павленко, А. Р. Аббасова</i>	5	149
Дослідження використання пластикових відходів як добавки для бітумна бетону з використанням мокрого процесу змішування. <i>А. В. Тіварі, І.Р.М. Рао</i>	6	83
Точки на поверхні сфери. <i>О. С. Данилова, А. С. Щербак, А. В. Краснюк</i>	6	93
Інноваційні технології для тилового забезпечення військ. <i>С. В. Мямлін, Ю. В. Кебал, О. П. Северин, С. О. Яковлєв, О. І. Шантала</i>	6	102

Назва статті	№ журналу	Стор.
Дослідження впливу ґрунтоцементних елементів при укріпленні моделі земляного полотна в лабораторних умовах. <i>В. Д. Петренко, О. Л. Тютькін, І. О. Святко</i>	6	112
Із досвіду проведення порівняльних випробувань лесових ґрунтів ручними динамічними зондами різноманітних конструкцій. <i>Я. В. Ульянов</i>	6	120
Розвиток вищої школи		
Підвищення наукового рівня інженерної підготовки фахівців залізничного транспорту. <i>Я. Калівода, Л. О. Недужа</i>	6	128

Тематический указатель журнала «Наука та прогрес транспорту.
Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна» за 2017 год

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Знаменательные события		
Транспортной академии Украины – 25 лет	2	7
Автоматизированные системы управления на транспорте		
Применение преобразования Фурье и вейвлет-преобразования для дешифрации кода АЛСН. <i>О. А. Гололобова, В. И. Гаврилюк</i>	1	7
Исследование распространения потенциалов вдоль рельсов. <i>Е. И. Ящук</i>	4	7
Экология на транспорте		
Расчет динамики загрязнения примагистральной территории при перевозке угля. <i>Н. Н. Беляев, М. О. Оладипо</i>	1	18
Снижение интенсивности уноса угольной пыли путем использования специального раствора. <i>Н. Н. Беляев, А. А. Карпо, З. Н. Якубовская</i>	2	8
Подсистема моделей экологического мониторинга для оценки состояния атмосферного воздуха. <i>С. З. Полищук, В. Ю. Кастийцева</i>	2	16
Численное моделирование загрязнения воздуха в случае внезапного выброса аммиака. <i>Л. В. Амелина, Н. Н. Беляев</i>	3	7
Прогноз загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта с учетом химической трансформации вредных веществ. <i>Н. Н. Беляев, Е. С. Славинская, Р. В. Кириченко</i>	3	15
Снижение концентрации аммиака в атмосфере при его внезапной эмиссии. <i>Л. В. Амелина, Н. Н. Беляев, П. Б. Машихина</i>	4	16
Численное моделирование распространения загрязнения на городской улице. <i>Н. Н. Беляев, О. С. Славинская, Р. В. Кириченко</i>	4	23
Водные реалии в Украине и мире. <i>Л. Ф. Долина, П. Б. Машихина, А. А. Карпо, А. А. Мищенко</i>	5	7
Экономика и управление		
Экономико-правовое обоснование инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры. <i>В. В. Железняк</i>	1	27
Реформирование и реструктуризация Укрзалізничці: ключевое задание для украинских реформаторов. <i>Р. Питтман</i>	1	34
Использование региональных возобновляемых биоресурсов для работы системы теплоснабжения. <i>А. Н. Пишинько, В. А. Габринец, В. Г. Кузнецов</i>	1	51
Анализ использования методов принятия решений в проектном менеджменте. <i>И. В. Трифонов, И. А. Корхина</i>	1	63
Представление самой мощной железной дороги ЕС и поддержка ее работы с помощью экономического анализа. <i>Б. Фаркас</i>	2	25

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Развитие системы перевозки грузов по автомобильной дороге на основе принципов логистики. <i>И. М. Царенкова</i>	5	19
Эксплуатация и ремонт средств транспорта		
Формализация параметра напряженности деятельности машиниста локомотива на основе эргономической модели. <i>А. Н. Горобченко, А. О. Антонович</i>	1	70
Повышение межремонтного ресурса тележек грузовых вагонов. Модель геометрии износа подпятника. <i>Л. А. Мурадян, Д. А. Подосенов</i>	1	79
Перспективы улучшения технического состояния вагонного парка на железных дорогах Украины. <i>Е. В. Пономаренко</i>	1	88
Выбор оптимальных параметров измерения частоты вращения вала гидравлической передачи тепловоза с использованием микроконтроллера. <i>И. В. Жуковицкий, И. А. Клюшник</i>	2	36
Методика создания интеллектуальных автоматизированных систем управления доставкой грузов на железной дороге. <i>А. И. Кириченко</i>	2	46
Создание экспортно-ориентированной сети элеваторов в Украине. <i>Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р. Ш. Рустамов</i>	2	56
Проблемы организации пассажирских перевозок на железных дорогах США. <i>Р. Г. Коробьева</i>	2	71
Оценка уровня соответствия локомотиворемонтного производства. <i>Ю. Н. Дацун</i>	3	23
Определение рамной силы электровоза ВЛ80 при движении на кривых участках пути. <i>А. Я. Кузьшин</i>	3	32
Моделирование процессов накопления вагонов для решения задач оперативного планирования в условиях неопределенности исходной информации. <i>О. А. Терещенко</i>	3	45
Определение допустимой скорости движения поезда с принудительным наклоном кузова в кривых участках пути. <i>М. И. Капица, Д. В. Бобыр, А. Е. Десяк</i>	4	29
Исследования энергообменных процессов при штатных условиях эксплуатации подвижного состава метрополитена с системами рекуперации. <i>А. А. Сулим, С. А. Мужичук, П. А. Хозя, А. А. Мельник, В. В. Федоров</i>	5	28
Перспективы использования частных локомотивов для перевозки грузов в направлении морских портов. <i>Д. Н. Козаченко, А. Б. Очкасов, А. П. Шепотенко, н. М. Санницкий</i>	6	7
Построение механической модели вагона дизель-поезда ДПКр-2 и ее особенности. <i>А. Я. Кузьшин, А. В. Батиц</i>	6	20
Расширение целей практического применения технического аудита на предприятиях железнодорожного транспорта. <i>А. М. Огороков, М. А. Булах</i>	6	30
Электрический транспорт		
Выбор рациональных параметров номинального режима электровозов. <i>Г. К. Гетьман, С. Л. Марикуца</i>	1	96
Аппроксимация универсальной магнитной характеристики для моделирования тяговых электрических машин. <i>А. Е. Друбецкий</i>	1	106

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Влияние нажатия контактов контакторов в силовых цепях электроподвижного состава на их пластическую деформацию и плавление. <i>А. Ю. Балийчук, Л. В. Дубинец, О. Л. Маренич, Д. В. Устименко</i>	2	81
Выбор рациональных параметров номинального режима электропоездов с асинхронным тяговым приводом. <i>Г. К. Гетьман, С. Л. Марикуца</i>	3	56
Расчет магнитных характеристик тягового электродвигателя с помощью усовершенствованной универсальной магнитной характеристики. <i>А. Е. Друбецкий</i>	3	66
Система автоматизированного выбора скоростного режима движения средств электротранспорта с целью уменьшения расхода электроэнергии. <i>К. А. Сорока, Т. П. Павленко, Д. А. Лычов</i>	3	77
Повышение эффективности работы электропривода постоянного тока на основе использования суперконденсаторных накопителей электроэнергии. <i>А. Н. Муха, Н. А. Костин, Е. Я. Куриленко, Г. В. Ципля</i>	5	48
Железнодорожный путь		
Прогнозирование пассажирских перевозок при внедрении высокоскоростного движения поездов. <i>Н. Б. Курган, Д. Н. Курган</i>	1	117
О поверхностном разрушении головок железнодорожных рельсов. <i>А. П. Дацьшин, Г. П. Марченко, А. Ю. Глазов</i>	4	41
Учет аэродинамического воздействия при установлении максимально-допустимых скоростей движения высокоскоростного поезда. <i>С. Т. Джаббаров</i>	5	61
Представление железнодорожного пути в математической модели движения экипажей. <i>Н. Б. Курган, Д. Н. Курган</i>	6	40
Информационно-коммуникационные технологии и математическое моделирование		
Проблемы выявления плагиата и анализ инструментального программного обеспечения для их решения. <i>В. И. Шинкаренко, Е. С. Куропятник</i>	1	131
Моделирование переходной кривой на ограниченном участке местности. <i>В. Д. Борисенко, С. А. Устенко</i>	2	92
Система поддержки академической честности для украинских университетов. <i>В. Г. Шерстюк, М. В. Жарикова</i>	2	101
Сценарно-прецедентный подход к управлению гетерогенным ансамблем динамических объектов. <i>В. Г. Шерстюк, И. В. Сокол, Е. Н. Тарасенко</i>	2	110
Математическая модель для определения показателей тягово-транспортных средств. <i>А. Ф. Головчук</i>	3	92
Создание IT-ориентированного онтологического фреймворка для целей формирования образовательных программ на основе компетентностей. <i>Г. М. Коротенко, Л. М. Коротенко, А. Т. Харь</i>	4	50
Материаловедение		
Особенности микроструктуры хромо-никелевого покрытия, наплавленного порошковой лентой ПЛ АН-111 с 50 % перекрытием. <i>А. Г. Белик, Б. В. Ефременко, С. Л. Макуров</i>	2	120
Композиционное импульсно-плазменное покрытие «сталь Р18/чугун 230Х28Г3». <i>Ю. Г. Чабак, Т. В. Пастухова, В. Г. Ефременко, И. А. Вакуленко, И. А. Волосенко</i>	3	102

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Влияние химического состава чугуна на межфазное распределение Сг после отжига при 690 °С. <i>В. В. Нетребко, И. П. Волчок</i>	4	60
Влияние структурных параметров низкоуглеродистой стали на горение электрической дуги. <i>И. А. Вакуленко, С. А. Плитченко, Н. Г. Мурашова</i>	5	71

Нетрадиционные виды транспорта. Машины и механизмы

Качественный анализ зависимости мощности привода ленточного горизонтально-наклонного конвейера от его исходных параметров. <i>В. Н. Богомаз, Н. В. Боренко, И. В. Нечай, А. П. Северин</i>	1	143
Определение конструктивных параметров шарнирно-сочлененных стреловых систем порталных кранов. <i>В. В. Суглобов, Е. В. Ткачук</i>	1	156
Динамика вибропитателей с нелинейной упругой характеристикой. <i>В. И. Дырда, Ю. Н. Овчаренко, С. В. Ракша, А. А. Черний</i>	2	131
Повышение ремонтпригодности муфт энергетических установок средств транспорта применением канатных упругих элементов. <i>В. А. Проценко, О. Ю. Клементьева</i>	2	140
Проектирование развернутых поверхностей деталей сложной формы. <i>С. С. Тищенко, А. В. Краснюк, Т. В. Ульченко, А. С. Щербак</i>	2	148
Экспериментальные исследования динамики центробежной литейной машины для производства прокатных валков. <i>П. Г. Анофриев</i>	3	112
Соотношения между жесткостными потерями и потерями в подшипниках канатных блоков. <i>В. Н. Богомаз, Л. Н. Бондаренко, М. В. Очеретнюк, А. А. Ткачов</i>	4	71
Влияние лопастных и профильных характеристик на гидродинамическую эффективность гребных винтов. <i>Ю. М. Король, О. Н. Корнелюк</i>	4	80
Определение эквивалентного и оптимального диаметров конически-цилиндрического наконечника с выступами для прокалывания почвы. <i>С. В. Кравец, А. П. Посмитюха, В. Н. Супонев</i>	4	89
Упругая нелинейная динамика движения суппортов карусельного станка для обработки железнодорожных колес. <i>Р. П. Погребняк</i>	4	98

Промышленный транспорт

Интенсификация теплообмена в высокотемпературном кипящем слое. <i>А. А. Редько, И. А. Редько</i>	5	79
---	---	----

Подвижной состав железных дорог и тяга поездов

Усовершенствование несущей конструкции вагона-платформы для повышения эффективности контейнерных перевозок. <i>А. А. Ловская</i>	1	167
Прочность боковой рамы трехэлементной тележки. <i>О. А. Шкунов</i>	1	183
Распределенное внешнее поверхностное упрочнение вагонных конструкций методом навивки. <i>О. В. Фомин, А. А. Стецко, В. Е. Осьмак</i>	2	156
Выбор конструктивных решений элементов вагонов с малой массой тары. <i>Ю. П. Бороненко, И. О. Филиппова</i>	3	121
Особенности конструкции ходовых частей тягового подвижного состава. <i>С. В. Мямлин, О. Лунис, Л. А. Недужая</i>	3	130

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Экспериментальная оценка спектров ударного отклика подвижного состава. <i>А. В. Третьяков, О. А. Третьяков, М. В. Зимакова, А. А. Петров</i>	3	147
Способы управления инертностью отопления. <i>Э. В. Белошицкий</i>	4	106
Теоретический базис параметрического синтеза несущих систем вагонов. <i>А. В. Фомин, А. Н. Горобченко, Н. С. Кочешкова, В. В. Коваленко</i>	4	117
Модель подвешивания магнитолевитирующего поезда. <i>В. А. Поляков, Н. М. Хачатуридзе</i>	5	91
Методика построения динамической модели движения многомассовой системы. <i>А. Г. Рейдемейстер, В. А. Калашник, А. А. Шкунов</i>	5	99
Определение нагруженности контейнеров в составе комбинированных поездов при перевозке железнодорожным паромом. <i>А. А. Ловская</i>	6	49
Теоретическая зависимость величины износа пары трения «пятник – подпятник» от пробега грузового вагона. <i>Л. А. Мурадян, Д. А. Подосёнов, В. Ю. Шапошник</i>	6	61
Совершенствование математических моделей для оценки динамики поезда. <i>Л. В. Урсуляк, А. А. Швец</i>	6	70
Транспортное строительство		
Исследование деформационных характеристик грунтовых материалов с использованием отходов. <i>Л. В. Трикоз, В. Ю. Савчук</i>	2	166
Деформационно-напряженное состояние узла этажного сопряжения балок проезжей части железнодорожного моста. <i>С. В. Ключник</i>	3	160
Определение и ранжирование организационно-технологических факторов, обуславливающих рациональные решения соединения арматуры. <i>А. В. Радкевич, А. Н. Нетеса</i>	3	171
Построение промежуточной опоры моста как параметрического объекта с помощью Autodesk Revit. <i>К. И. Гладкая, Н. П. Бочарова</i>	4	129
Динамика развития, сущность и область применения пространственных структурно-вантовых сталежелезобетонных конструкций. <i>Г. М. Гасий</i>	5	107
Взаимодействие грунтоцементных свайных подпорных конструкций с телом оползня. <i>Д. Ю. Игнатенко, В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкин</i>	5	115
Динамическое поведение двухпролётных неразрезных железобетонных пролётов при воздействии скоростных поездов. <i>А. Г. Мариниченко</i>	5	124
Особенности проектирования комбинированных арочных мостов с гибкими наклонными подвесками. <i>В. А. Самосват, Чжан Ронлин, О. А. Гололобова, С. Ю. Буряк</i>	5	131
Исследования гидравлического влияния на технологическую устойчивость метротоннеля мелкого заложения в намывных массивах. <i>С. М. Стовпник, А. Л. Ган, Е. А. Загоруйко, Л. В. Шайдецкая</i>	5	141
Особенности золы тепловых электростанций как заполнителя для бетонов. <i>Н. А. Сторожук, Т. М. Павленко, А. Р. Аббасова</i>	5	149
Исследование использования пластиковых отходов в качестве добавки для битумного бетона при применении мокрого процесса смешивания. <i>А. В. Тивари, И.Р.М. Рао</i>	6	83
Точки на поверхности сферы. <i>О. С. Данилова, А. С. Щербак, А. В. Краснюк</i>	6	93

Название статьи	Номер журн.	Стр.
<p>Инновационные технологии тылового обеспечения войск. <i>С. В. Мямлин, Ю. В. Кебал, А. П. Северин, С. А. Яковлев, А. И. Шаптала</i></p>	6	102
<p>Исследование влияния грунтоцементных элементов при укреплении модели земляного полотна в лабораторных условиях. <i>В. Д. Петренко, А. Л. Тюткин, И. А. Святко</i></p>	6	112
<p>Из опыта проведения сравнительных испытаний лессовых грунтов ручными динамическими зондами разнообразных конструкций. <i>Я. В. Ульянов</i></p>	6	120
Развитие высшей школы		
<p>Повышение уровня инженерной подготовки специалистов железнодорожного транспорта. <i>Я. Каливода, Л. А. Недужая</i></p>	6	128

Subject index to the journal «Nauka ta Progres Transportu. Visnik Dnipropetrovs'kogo Nacional'nogo Uni versitetu Zalizničnogo Transportu = Science and Transport Progress» for 2017

Article title	Journal number	Page
Events		
Transport academy of Ukraine – 25 years	2	7
Transport Automated Control Systems		
Application of Fourier transform and wavelet decomposition for decoding the continuous automatic locomotive signaling code. <i>O. O. Hololobova, V. I. Havryliuk</i>	1	7
Potentials railwise propagation study <i>K. I. Yashchuk</i>	4	7
Transport Ecology		
Calculation of pollution dynamics near railway territory during coal transportation. <i>M. M. Biliaiev, M. O. Oladipo</i>	1	18
Reducing the intensity of takeaway pulverized coal by using special solution. <i>M. M. Biliaiev, A. A. Karpo, Z. M. Yakubovska</i>	2	8
Subsystem of models of ecological monitoring for estimation of the state of atmospheric air. <i>S. Z. Polischuk, V. Yu. Kaspijcteva</i>	2	16
Numerical simulation of air pollution in case of unplanned ammonia release. <i>L. V. Amelina, M. M. Biliaiev</i>	3	7
Prediction of atmospheric air pollution by emissions of motor transport taking into account the chemical transformation of harmful substance. <i>M. M. Biliaiev, O. S. Slavinska, R. V. Kyrychenko</i>	3	15
Reducing ammonia concentrations in atmosphere after its unplanned release. <i>L. V. Amelina, M. M. Biliaiev, P. B. Mashykhina</i>	4	16
Numerical simulation of pollution dispersion in urban street. <i>M. M. Biliaiev, O. S. Slavinska, R. V. Kyrychenko</i>	4	23
Water reality in Ukraine and the worldwide. <i>L. F. Dolina, P. B. Mashykhina, A. A. Karpo, A. A. Mishchenko</i>	5	7
Economics and Management		
Economic and legal grounds for investment in development of transport infrastructure. <i>V. V. Zhelezniak</i>	1	27
Reforming and restructuring Ukrzaliznytsia: a crucial task for Ukrainian reformers. <i>R. Pittman</i>	1	34
Using regional renewable energy resources for heating supply systems. <i>O. M. Pshinko, V. O. Gabrinets, V. H. Kuznetsov</i>	1	51
Analysis on the usage of decision-making methods in project management. <i>I. V. Trifonov, I. A. Korkhina</i>	1	63
The introduction of the most powerful railway of the EU, and its support with economic analyses. <i>B. Farkas</i>	2	25
Development of cargo transportation system by road on the basis of logistics principles. <i>I. M. Tsarenkova</i>	5	19
Operation and Repair of Transport Means		
Formalization of locomotive driver activity tension indicator based on the ergonomic model. <i>O. M. Horobchenko, A. O. Antonovych</i>	1	70

Article title	Journal number	Page
Improving TBO of freight car bogies. Geometry model of center pad wear. <i>L. A. Muradian, D. O. Podosonov</i>	1	79
The prospects for improving the technical state of rolling stock on the railways of Ukraine. <i>O. V. Ponomarenko</i>	1	88
Choice of the optimal parameters of measuring the shaft rotation frequency of the hydraulic transmission of the locomotive using microcontroller. <i>I. V. Zhukovitskiy, I. A. Klyushnik</i>	2	36
Creation principles of intelligent automated delivery management systems at the railway. <i>H. I. Kyrychenko</i>	2	46
Creation of export-oriented network of grain elevators in Ukraine. <i>D. M. Kozachenko, R. V. Vernigora, R. S. Rustamov</i>	2	56
Issues of organizing the passenger transportation on US railways. <i>R. H. Korobiova</i>	2	71
Conformance rating for locomotive repair productions. <i>Y. M. Datsun</i>	3	23
Determination of frame force for electric locomotive VL80 when moving in the curved track sections. <i>A. Y. Kuzyshyn</i>	3	32
Simulation of cars accumulation processes for solving tasks of operational planning in conditions of initial information uncertainty. <i>O. A. Tereshchenko</i>	3	45
Determining permissible speed of tilting train in curved track. <i>M. I. Kapitsa, D. V. Bobyr, A. Y. Desiak</i>	4	29
Study on energy exchange processes in normal operation of metro rolling stock with regenerative braking systems. <i>A. O. Sulym, S. O. Muzhychuk, P. O. Khozya, O. O. Melnyk, V. V. Fedorov</i>	5	28
Prospects of the private locomotives usage for goods traffic in the direction of sea ports. <i>D. M. Kozachenko, O. B. Ochkasov, A. P. Shepotenko, N. M. Sannytskyy</i>	6	7
Construction of mechanical model of the diesel-train DTKr-2 car and its features. <i>A. Y. Kuzyshyn, A. V. Batig</i>	6	20
Expansion of objectives of the practical application of technical audit at railway transport enterprises. <i>A. M. Okorokov, M. O. Bulakh</i>	6	30

Electric Transport

Selection of rational parameters of the nominal mode of electric locomotives. <i>H. K. Hetman, S. L. Marikutsa</i>	1	96
Approximation of universal magnetic characteristic for modelling electric traction machines. <i>A. Yu. Drubetskyi</i>	1	106
Influence of contactor contact pressure in power circuits of electric stock on their plastic deformation and fusing. <i>O. Yu. Baliichuk, L. V. Dubynets, O. L. Marenych, D. V. Ustymenko</i>	2	81
Selection of rational parameters of the nominal mode electric trains with asynchronous traction drive. <i>H. K. Hetman, S. L. Marikutsa</i>	3	56
Calculation of magnetic characteristics of traction electric engine using the improved universal magnetic characteristics. <i>A. Y. Drubetskyi</i>	3	66

Article title	Journal number	Page
System for automatic selection of the speed rate of electric vehicles for reducing the power consumption. <i>K. O. Soroka, T. P. Pavlenko, D. A. Lychov</i>	3	77
Enhancing the operational efficiency of direct current drive based on use of supercondenser power storage units. <i>A. M. Mukha, M. O. Kostin, O. Y. Kurylenko, H. V. Tsyplia</i>	5	48
Railway Track		
Forecasting of passenger traffic upon implementation of high-speed running. <i>M. B. Kurhan, D. M. Kurhan</i>	1	117
On surface fracture of rail heads. <i>O. P. Datsyshyn, H. P. Marchenko, A. Y. Glazov</i>	4	41
Consideration of aerodynamic impact in setting the maximum permissible speeds of high-speed train. <i>S. T. Djabbarov</i>	5	61
Railway track representation in mathematical model of vehicles movement. <i>M. B. Kurhan, D. M. Kurhan</i>	6	40
Information and communication technologies and mathematical modeling		
Plagiarism detection problems and analysis software tools for its solve. <i>V. I. Shynkarenko, O. S. Kuropiatnyk</i>	1	131
Modeling the transition curve on a limited terrain. <i>V. D. Borisenko, S. A. Ustenko</i>	2	92
Academic integrity support system for Ukrainian universities. <i>V. G. Sherstjuk, M. V. Zharikova</i>	2	101
Scenario-case approach to the control of heterogeneous ensembles of dynamic objects. <i>V. G. Sherstjuk, I. V. Sokol, E. N. Tarasenko</i>	2	110
Mathematical model for determining the indicators of tractive vehicles. <i>A. F. Golovchuk</i>	3	92
Creation of IT-oriented ontological framework for the purpose of making educational programs on the base of competencies. <i>G. M. Korotenko, L. M. Korotenko, A. T. Khar</i>	4	50
Material Science		
Microstructure features of chrome-nikel coating welded with filler wire PL AN-111 with a 50% overlap. <i>A. G. Belik, B. V. Efremenko, S. L. Makurov</i>	2	120
Composite impulsed-plasma coating «steel T1/cast iron Cr28mn3». <i>Y. G. Chabak, T. V. Pastukhova, V. G. Efremenko, I. O. Vakulenko, I. A. Volosenko</i>	3	102
Influence of the cast iron's chemical composition on the interphase distribution of Cr after annealing at 690 °C. <i>V. V. Netrobko, I. P. Volchok</i>	4	60
Influence of structural parameters of low-carbon steel on electric arc burning. <i>I. O. Vakulenko, S. O. Plitchenko, N. G. Murashova</i>	5	71
Non-Traditional Transport Modes. Machines and Mechanism		
Qualitative analysis of dependence of drive power horizontal-inclined belt conveyor on its initial parameters. <i>V. M. Bohomaz, M. V. Borenko, I. V. Nechay, O. P. Severyn</i>	1	143
Determination of design parameters of articulated jib systems of portal crane. <i>V. V. Suglobov, K. V. Tkachuk</i>	1	156
Dynamics of vibration feeders with a nonlinear elastic characteristic. <i>V. I. Dyrda, Yu. N. Ovcharenko, S. V. Raksha, A. A. Chernii</i>	2	131

Article title	Journal number	Page
Coupling maintainability increase of transport vehicles power plants by application of rope elastic elements. <i>V. O. Protsenko, O. Yu. Klementyeva</i>	2	140
Designing of developed surfaces of complex parts. <i>S. S. Tyshchenko, A. V. Krasniuk, T. V. Ulchenko, A. S. Shcherbak</i>	2	148
Experimental study of the dynamics of centrifugal casting machines for production of mill rolls. <i>P. G. Anofriev</i>	3	112
The relationship between stiffness losses and losses in bearings of rope blocks. <i>V. M. Bohomaz, L. M. Bondarenko, M. V. Ocheretniuk, O. O. Tkachov</i>	4	71
Influence of blade and profile characteristics on hydrodynamic efficiency of marine propellers. <i>Y. M. Korol, O. M. Kornelyuk</i>	4	80
Determining of the equivalent and optimum diameters of cone-cylinder tip with soil broaching spurs. <i>S. V. Kravets, O. P. Posmitjukha, V. M. Suponyev</i>	4	89
Elastic nonlinear dynamics of motion of slide of vertical turning machine for working of solid-rolled railway wheels. <i>R. P. Pogrebnyak</i>	4	98
Industrial Transport		
Intensification of heat transfer in a high-temperated fluidized bed. <i>A. A. Redko, I. A. Redko</i>	5	79
Rolling Stock and Train Traction		
Improvement of the supporting structure of platform car for higher efficiency of container transportations. <i>A. O. Lovska</i>	1	167
Three-element bogie side frame strength. <i>O. A. Shykunov</i>	1	183
Distributed eternal surface hardening of car design by winding. <i>O. V. Fomin, A. A. Stetsko, V. Ye. Osmak</i>	2	156
Selection of constructive solutions of car elements with small empty weight. <i>Y. P. Boronenko, I. O. Filippova</i>	3	121
Peculiarities of running gear construction of rolling stock. <i>S. V. Myamlin, O. Lunys, L. O. Neduzha</i>	3	130
Experimental evaluation of shock spectrum response of rolling stock. <i>A. V. Tretiakov, O. A. Tretiakov, M. V. Zimakova, A. A. Petrov</i>	3	147
Ways to manage heating inertia. <i>E. V. Biloshytskyi</i>	4	106
Theoretical basis of parametric synthesis for carrying systems of cars. <i>O. V. Fomin, O. M. Gorobchenko, N. S. Kocheshkova, V. V. Kovalenko</i>	4	117
Magnetically levitated train's suspension model. <i>V. A. Polyakov, N. M. Khachapuridze</i>	5	91
Method of constructing the dynamic model of movement of the multi-mass system. <i>O. H. Reidemeister, V. O. Kalashnyk, o. A. Shykunov</i>	5	99
Determination of the loading of containers in mixed trains when transporting by train ferries. <i>A. O. Lovska</i>	6	49
Theoretical dependence of wear value of friction pair «cetr plate – center pad» on a freight car mileage. <i>L. A. Muradian, D. O. Podosenov, V. Y. Shaposhnyk</i>	6	61
Improvement of mathematical models for estimation of train dynamics. <i>L. V. Ursulyak, A. O. Shvets</i>	6	70

Article title	Journal number	Page
Transport Construction		
The study of deformation characteristics of soil materials with the usage of wastes. <i>L. V. Trykoz, V. U Savchuk</i>	2	166
Stress-strain state of beam staged connection point of the railway bridge track-way. <i>S. V. Kluchnik</i>	3	160
Determination and ranging of organizational and technological factors that define the rational decisions of re-bars connection. <i>A. V. Radkevych, A. M. Netesa</i>	3	171
Construction the bridge pier as parametric object using autodesk revit. <i>K. I. Hladka, N. P. Bocharova</i>	4	129
Development, essence and scope of application of steel and concrete composite cable space frames. <i>G. M. Gasii</i>	5	107
Interaction of soil-cement pile supporting structures with the body of a landslide. <i>D. Y. Ihnatenko, V. D. Petrenko, O. L. Tiutkin</i>	5	115
Dynamic behavior of two-span continuous concrete bridges under moving of high-speed trains. <i>O. H. Marinichenko</i>	5	124
Features of design of tied-arch bridges with flexible inclined suspension hangers. <i>V. O. Samosvat, Zhang Rongling, O. O. Hololobova, S. Y. Buriak</i>	5	131
Research of hydraulic impact on the technological stability of shallow metrotunnel in dredging massives. <i>S. M. Stovpnyk, A. L. Han, E. A. Zahoruiko, L. V. Shaidetska</i>	5	141
Features of ash of thermal power plants as aggregate for concretes. <i>M. A. Storozhuk, T. M. Pavlenko, A. R. Abbasova</i>	5	149
Investigation on Utility of Plastic Waste as an Additive for Bituminous Concrete Using Wet Process of Mixing. <i>Anurag V. Tiwari, Y.R.M. Rao</i>	6	83
Points on the sphere surface. <i>O. S. Danylova, A. S. Shcherbak, A. V. Krasniuk</i>	6	93
Innovative technologies of logistical support of troops. <i>S. V. Myamlin, Y. V. Kebal, O. P. Severyn, S. O. Yakovliev, O. I. Shaptala</i>	6	102
Study of the effect of soil cement elements when stabilizing roadbed model in laboratory conditions. <i>V. D. Petrenko, O. L. Tiutkin, I. O. Sviatko</i>	6	112
From experience of conducting comparative tests of loess soils by manual dynamic probes of different constructions. <i>Y. V. Ulyanov</i>	6	120
High School Development		
Enhancing the scientific level of engineering training of railway transport professionals. <i>J. Kalivoda, L. O. Neduzha</i>	6	128

ЗМІСТ

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

**Д. М. КОЗАЧЕНКО, О. Б. ОЧКАСОВ,
А. П. ШЕПОТЕНКО, Н. М. САННИЦЬКИЙ**
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРИВАТНИХ
ЛОКОМОТИВІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ У
НАПРЯМКУ МОРСЬКИХ ПОРТІВ 7

А. Я. КУЗИШИН, А. В. БАТІГ
ПОБУДОВА МЕХАНІЧНОЇ МОДЕЛІ ВАГОНА
ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА ДПКР-2 ТА ЇЇ ОСОБЛИВОСТІ 20

А. М. ОКОРОКОВ, М. О. БУЛАХ
РОЗШИРЕННЯ ЦІЛЕЙ ПРАКТИЧНОГО
ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО АУДИТУ
НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ 30

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

М. Б. КУРГАН, Д. М. КУРГАН
ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ У
МАТЕМАТИЧНІЙ МОДЕЛІ РУХУ ЕКІПАЖІВ..... 40

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

А. О. ЛОВСЬКА
ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНТЕЙНЕРІВ
У СКЛАДІ КОМБІНОВАНИХ ПОЇЗДІВ ПРИ
ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ПОРОМОМ 49

**Л. А. МУРАДЯН, Д. О. ПОДОСЬОНОВ,
В. Ю. ШАПОШНИК**
ЗАЛЕЖНІСТЬ ВЕЛИЧИНИ ЗНОСУ ПАРИ ТЕРТЯ
«П'ЯТНИК-ПІДП'ЯТНИК» ВІД ПРОБІГУ
ВАНТАЖНОГО ВАГОНА 61

Л. В. УРСУЛЯК, А. О. ШВЕЦЬ
ВДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ
ДЛЯ ОЦІНКИ ДИНАМІКИ ПОЇЗДА 70

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

А. В. ТІВАРІ, І.Р.М. РАО
ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПЛАСТИКОВИХ
ВІДХОДІВ ЯК ДОБАВКИ ДЛЯ БІТУМНОГО БЕТОНУ
ПРИ ЗАСТОСУВАННІ МОКРОГО ПРОЦЕСУ
ЗМІШУВАННЯ 83

**О. С. ДАНИЛОВА, А. С. ЩЕРБАК,
А. В. КРАСНЮК**
ТОЧКИ НА ПОВЕРХНІ СФЕРИ 93

**С. В. МЯМЛІН, Ю. В. КЕБАЛ, О. П. СЕВЕРИН,
С. О. ЯКОВЛЄВ, О. І. ШАПТАЛА**
ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ТИЛОВОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬК 102

В. Д. ПЕТРЕНКО, О. Л. ТЮТЬКІН, І. О. СВЯТКО
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГРУНТОЦЕМЕНТНИХ
ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ УКРІПЛЕННІ МОДЕЛІ ЗЕМЛЯНОГО
ПОЛОТНА В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ 112

Я. В. УЛЬЯНОВ
ІЗ ДОСВІДУ ПРОВЕДЕННЯ ПОРІВНЯЛЬНИХ
ВИПРОБУВАНЬ ЛЕСОВИХ ГРУНТІВ РУЧНИМИ
ДИНАМІЧНИМИ ЗОНДАМИ РІЗНОМАНІТНИХ
КОНСТРУКЦІЙ 120

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Я. КАЛВОДА, Л. О. НЕДУЖА
ПІДВИЩЕННЯ НАУКОВОГО РІВНЯ ІНЖЕНЕРНОЇ
ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ 128

**ТЕМАТИЧНИЙ ПОКАЖЧИК ЖУРНАЛУ
«НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ. ВІСНИК
ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»
ЗА 2017 РІК 138**

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

**Д. Н. КОЗАЧЕНКО, А. Б. ОЧКАСОВ,
А. П. ШЕПОТЕНКО, Н. М. САННИЦКИЙ**
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТНЫХ
ЛОКОМОТИВОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ В
НАПРАВЛЕНИИ МОРСКИХ ПОРТОВ 7

А. Я. КУЗЫШИН, А. В. БАТИГ
ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ВАГОНА ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА ДКПР-2 И
ЕЕ ОСОБЕННОСТИ 20

А. М. ОКороков, М. А. Булах
РАСШИРЕНИЕ ЦЕЛЕЙ ПРАКТИЧЕСКОГО
ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО АУДИТА НА
ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА 30

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

Н. Б. КУРГАН, Д. Н. КУРГАН
ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ
ЭКИПАЖЕЙ 40

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

А. А. ЛОВСКАЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ КОНТЕЙНЕРОВ
В СОСТАВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЕЗДОВ
ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ
ПАРОМОМ 49

**Л. А. МУРАДЯН, Д. А. ПОДОСЁНОВ,
В. Ю. ШАПОШНИК**
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ
ИЗНОСА ПАРЫ ТРЕНИЯ «ПЯТНИК-ПОДПЯТНИК» ОТ
ПРОБЕГА ГРУЗОВОГО ВАГОНА 61

Л. В. УРСУЛЯК, А. А. ШВЕЦ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ ПОЕЗДА 70

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

А. В. ТИВАРИ, И.Р.М. РАО
ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ
ДЛЯ БИТУМНОГО БЕТОНА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ
МОКРОГО ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ 83

**О. С. ДАНИЛОВА, А. С. ЩЕРБАК,
А. В. КРАСНЮК**
ТОЧКИ НА ПОВЕРХНОСТИ СФЕРЫ 93

**С. В. МЯМЛИН, Ю. В. КЕБАЛ, А. П. СЕВЕРИН,
С. А. ЯКОВЛЕВ, А. И. ШАПТАЛА**
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЫЛОВОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЙСК 102

В. Д. ПЕТРЕНКО, А. Л. ТЮТЬКИН, И. А. СВЯТКО
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ УКРЕПЛЕНИИ МОДЕЛИ
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ЛАБОРАТОРНЫХ
УСЛОВИЯХ 112

Я. В. УЛЬЯНОВ
ИЗ ОПЫТА ПРОВЕДЕНИЯ СРАВНИТЕЛЬНЫХ
ИСПЫТАНИЙ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ РУЧНЫМИ
ДИНАМИЧЕСКИМИ ЗОНДАМИ РАЗНООБРАЗНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ 120

РАЗВИТИЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Я. КАЛИВОДА, Л. А. НЕДУЖАЯ
ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ИНЖЕНЕРНОЙ
ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА 128

**ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЖУРНАЛА
«НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА. ВЕСТНИК
ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА» ЗА 2017 ГОД 144**

CONTENTS

OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS

**D. M. KOZACHENKO, O. B. OCHKASOV,
A. P. SHEPOTENKO, N. M. SANNYTSKYI**
PROSPECTS OF THE PRIVATE LOCOMOTIVES USAGE
FOR GOODS TRAFFIC IN THE DIRECTION OF SEA
PORTS 7

A. Y. KUZYSHYN, A. V. BATIG
CONSTRUCTION OF MECHANICAL MODEL OF THE
DIESEL-TRAIN DTKR-2 CAR AND ITS FEATURES 20

A. M. OKOROKOV, M. O. BULAKH
EXPANSION OF OBJECTIVES OF THE PRACTICAL
APPLICATION OF TECHNICAL AUDIT AT RAILWAY
TRANSPORT ENTERPRISES 30

RAILWAY TRACK

M. B. KURHAN, D. M. KURHAN
RAILWAY TRACK REPRESENTATION IN
MATHEMATICAL MODEL OF
VEHICLES MOVEMENT 40

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

A. O. LOVSKA
DETERMINATION OF THE LOADING
OF CONTAINERS IN MIXED TRAINS WHEN
TRANSPORTING BY TRAIN FERRIES 49

**L. A. MURADIAN, D. O. PODOSENOV,
V. Y. SHAPOSHNYK**
THEORETICAL DEPENDENCE OF WEAR VALUE OF
FRICTION PAIR «CENTR PLATE – CENTER PAD» ON
A FREIGHT CAR MILEAGE 61

L. V. URSULYAK, A. O. SHVETS
IMPROVEMENT OF MATHEMATICAL MODELS FOR
ESTIMATION OF TRAIN DYNAMICS 70

TRANSPORT CONSTRUCTION

ANURAG V. TIWARI, Y.R.M RAO
INVESTIGATION ON UTILITY OF PLASTIC WASTE AS
AN ADDITIVE FOR BITUMINOUS CONCRETE USING
WET PROCESS OF MIXING 83

**O. S. DANYLOVA, A. S. SHCHERBAK,
A. V. KRASNIUK**
POINTS ON THE SPHERE SURFACE 93

**S. V. MYAMLIN, Y. V. KEBAL, O. P. SEVERYN,
S. O. YAKOVLIEV, O. I. SHAPTALA**
INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF LOGISTICAL
SUPPORT OF TROOPS 102

V. D. PETRENKO, O. L. TIUTKIN, I. O. SVIATKO
STUDY OF THE EFFECT OF SOIL CEMENT ELEMENTS
WHEN STABILIZING ROADBED MODEL IN
LABORATORY CONDITIONS 112

Y. V. ULYANOV
FROM EXPERIENCE OF CONDUCTING COMPARATIVE
TESTS OF LOESS SOILS BY MANUAL DYNAMIC
PROBES OF DIFFERENT CONSTRUCTIONS 120

HIGH SCHOOL DEVELOPMENT

J. KALIVODA, L. O. NEDUZHA
ENHANCING THE SCIENTIFIC LEVEL OF
ENGINEERING TRAINING OF RAILWAY TRANSPORT
PROFESSIONALS 128

**SUBJECT INDEX TO THE JOURNAL «SCIENCE
AND TRANSPORT PROGRESS. BULLETIN
OF DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY
OF RAILWAY TRANSPORT» FOR 2017 150**

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 А4, 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 статтю та друкований примірник рукопису з підписами всіх співавторів на останньому аркуші роботи;

2) оригінал Ліцензійного договору з підписами всіх співавторів;

3) рецензія на статтю з місця роботи авторів;

4) 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;

5) 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, пристатейних 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/>

Д л я н о т а т о к

Наукове видання

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

№ 6 (72) 2017

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – О. В. Помінова
Комп'ютерне верстання – А. О. Каіра, О. В. Помінова
Літературна обробка – Ю. Г. Дішкант

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 18,6. Тираж 300 пр. Зам. №005/08

**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
Свідоцтво 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**

**(НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА. ВЕСТНИК ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА)**

№ 6 (72) 2017

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – О. В. Помінова
Компьютерная верстка – А. О. Каіра, О. В. Помінова
Литературная обработка – Ю. Г. Дішкант

Формат 60×84¹/₈. Ус. печат. лист. 18,6. Тираж 300 экз. Зак. №005/08

**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 DNİPROPETROVS'KOGO NACIONAL'NOGO
UNİVERSITETU ZALİZNIČNOGO TRANSPORTU**

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

No. 6 (72) 2017

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – О. В. Pomіnova
Desktop publishing – А. О. Kaira, О. В. Pomіnova
Redaction – Yu. H. Dishkant

Format 60×84¹/₈. Conventional printed sheet 18,6. Circulation 300. Order no. 005/08

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

