



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



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

5(47)

•• 2013 ••

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Науковий журнал

5 (47) 2013

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

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

Дніпропетровськ

2013

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

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

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

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ (УКРАЇНА):

Аксьонов І. М., Афанасов А. М., Банніков Д. О., Бараш Ю. С., Біляєв М. М., Бобирь Д. В., Бобровський В. І., Боднар Б. Є., Босов А. А., Вакуленко І. О., Верхоглядова Н. І., Власова Т. І., Габринєць В. О., Гаврилук В. І., Гетьман Г. К., Главацький К. Ц., Головова Л. С., Гончаров К. В., Горобець В. Л., Дорогань Т. Є., Доценко О. М., Жуковицький І. В., Заблудовський В. О., Каламбет С. В., Капіца М. І., Ковтун В. В., Копитко В. І., Костін М. О., Кравець В. В., Краснюк А. В., Кривчик Г. Г., Кузнецов В. Г., Курган М. Б., Муха А. М., Мухіна Н. А., Настечик М. П., Нетеса М. І., Оковитий С. І., Очкасов О. Б., Петренко В. Д., Пічугов С. О., Пічурін В. В., Покотілов А. А., Полішко Т. В., Радкевич А. В., Радченко М. О., Ракша С. В., Рибкін В. В., Скалозуб В. В., Сніжко Л. О., Урсуляк Л. В., Штапенко Е. П., Яришкіна Л. О.

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Анісімов П. С. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Бялонь А. (Науково-технічний центр залізничного транспорту, Республіка Польща); Васяк І. (Інститут електроенергетики, Республіка Польща); Гусєв Б. В. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Долежел І. (Академія наук, Чеська Республіка); Зіммер К. (Електротехнічний інститут, Республіка Польща); Казакевич М. І. (Федеративна Республіка Німеччина); Лінгайтис В. Л. (Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса, Литва); Манашкін Л. А. (Технологічний університет Нью-Джерсі, США); Микульські Є. (Сілезький технологічний університет, Республіка Польща); Сладковські А. (Сілезький технологічний університет, Республіка Польща); Стржелецькі Р. (Гданський морський університет, Республіка Польща); Худзікевич А. (Варшавський політехнічний університет, Республіка Польща).

Журнал зареєстровано Державною реєстраційною службою Міністерства юстиції України. Свідоцтво про реєстрацію КВ № 19609-9409ПР від 29.12.2012 р. Видання внесено до Переліку наукових фахових видань України постановами президії ВАК України № 1-05/6 від 16.12.2009 р. (технічні науки) та № 1-05/2 від 10.03.2010 р. (економічні науки). Журнал зареєстровано в міжнародних каталогах періодичних видань Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat, наукометричних системах Google Scholar, Polish Scholarly Bibliography, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus. Друкується за рішенням вченої ради університету від 28.10.2013 р., протокол № 3

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

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

Видання публікується з 1936 р.:

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

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

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

(НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА)

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

Научный журнал

5 (47) 2013

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

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

Днепропетровск

2013

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):

Аксенов И. М., Афанасов А. М., Банников Д. О., Бараш Ю. С., Беляев Н. Н., Бобырь Д. В., Бобровский В. И., Боднар Б. Е., Босов А. А., Вакуленко И. А., Верхоглядова Н. И., Власова Т. И., Габринец В. А., Гаврилюк В. И., Гетьман Г. К., Главацкий К. Ц., Головкова Л. С., Гончаров К. В., Горобец В. Л., Дорогань Т. Е., Доценко Е. Н., Жуковицкий И. В., Заблудовский В. А., Каламбет С. В., Капица М. И., Ковтун В. В., Копитко В. И., Костин Н. А., Кравец В. В., Краснюк А. В., Кривчик Г. Г., Кузнецов В. Г., Курган Н. Б., Муха А. М., Мухина Н. А., Настечик М. П., Нетеса Н. И., Оковитый С. И., Очкасов А. Б., Петренко В. Д., Пичугов С. А., Пичурин В. В., Покотилев А. А., Полишко Т. В., Радкевич А. В., Радченко Н. А., Ракша С. В., Рыбкин В. В., Скалозуб В. В., Снежко Л. А., Урсуляк Л. В., Штапенко Е. П., Яришкина Л. А.

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Анисимов П. С. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Бялонь А. (Научно-технический центр железнодорожного транспорта, Республика Польша); Васяк И. (Институт электроэнергетики, Республика Польша); Гусев Б. В. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Долежел И. (Академия наук, Чешская Республика); Зиммер К. (Электротехнический институт, Республика Польша); Казакевич М. И. (Федеративная Республика Германия); Лингайтис В. Л. (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва); Манашкин Л. А. (Технологический университет Нью-Джерси, США); Микульски Е. (Силезский технологический университет, Республика Польша); Сладковски А. (Силезский технологический университет, Республика Польша); Стржеleckи Р. (Гданьский морской университет, Республика Польша); Худзикевиц А. (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 постановлением президиума ВАК Украины № 1-05/6 от 16.12.2009 г. (технические науки) и № 1-05/2 от 10.03.2010 г. (экономические науки).
Журнал зарегистрирован в международных каталогах периодических изданий Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat, наукометрических системах Google Scholar, Polish Scholarly Bibliography, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus.

Печатается по решению ученого совета университета от 28.10.2013 г., протокол № 3

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

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

Издание публикуется с 1936 г.:

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

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

NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU

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

(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

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

Scientific journal

5 (47) 2013

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

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

Dnipropetrovsk

2013

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

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

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

EDITORIAL BOARD MEMBERS (UKRAINE):

Afanasov A. M., Aksenov I. 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., Dorohan T. E., Dotsenko O. M., Gabrync V. A., Gavrilyuk V. I., Getman G. K., Glavatskiy K. Ts., Golovkova L. S., Goncharov K. V., Gorobets V. L., Kalambet S. V., Kapitsa M. I., Kopytko V. I., Kostin M. O., Kovtun V. V., Krasnyuk A. V., Kravets V. V., Kurgan M. B., Kuznetsov V. G., Mukha A. M., Mukhina N. A., Nastechik N. P., Netesa N. I., Ochkasov O. B., Okovytyy S. I., Petrenko V. D., Pichugov S. O., Pichurin V. V., Pokotilov A. A., Polishko T. V., Radchenko N. A., Radkevych A. V., Raksha S. V., Rybkin V. V., Shtapenko E. P., Skalozub V. V., Snizhko L. O., Ursulyak L. V., Vakulenko I. O., Verkhoglyadova N. I., Vlasova T. I., Yarishkina L. O., Zabludovskiy V. O., Zhukovytsky I. V.

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

Anisimov P. (Moscow State University of Railway Engineering, Russian Federation); Byalon A. (Science and Technology Center of Railway Transport, Republic of Poland); Chudzikiewicz A. (Transport Warsaw University of Technology, Republic of Poland); Dolezel I. (Academy of Sciences, Czech Republic); Gusev B. (Moscow State University of Railway Engineering, Russian Federation); Kazakevich M. (Federal Republic of Germany); Lingaitis V. L. (Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania); Manashkin L. (New Jersey Institute of Technology, USA); Mikulski J. (Silesian University of Technology, Republic of Poland); Sladkowski A. (Silesian University of Technology, Republic of Poland); Strzelecki R. (Gdynia Maritime University, Republic of Poland); Wasiak I. (Institute of Electrical Power Engineering, Republic of Poland); Zimmer 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 Resolution of Presidium of HAC (Higher Attestation Commission) of Ukraine no. 1-05/6 from 16.12.2009 (technical sciences) and no. 1-05/2 from 10.03.2010 (economic sciences).
 Journal is registered in the International Catalogue of periodicals Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat, research and metric systems Google Scholar, Polish Scholarly Bibliography, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus.
 Published according to the Academic Council decision of the University from 28.10.2013, Protocol no. 3

Publisher Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipropetrovsk)
 Certificate of Publisher ДК no. 1315 from 31.03.2003

Address of Founder St. Lazaryana, 2, room 267, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: (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»;
 з 2013 – «Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна»

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 656.259.12 : 656.256.3

А. М. БЕЗНАРИТНИЙ^{1*}, В. І. ГАВРИЛЮК¹

^{1*}Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, факс +38 (0562) 471 866, ел. пошта beznarytny.am@gmail.com

¹Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04,

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТА ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ СИСТЕМ ЧИСЛОВОГО КОДОВОГО АВТОБЛОКУВАННЯ

Мета. Виявлення характерних особливостей роботи засобів технічного контролю системи числового кодового автоблокування, їх переваг та недоліків, аналіз можливості їх використання для діагностування стану пристроїв автоблокування та постановка завдань для розробки нових діагностичних комплексів. **Методика.** Для досягнення поставленої мети було використано теоретико-аналітичний метод та метод функціонального аналізу. **Результати.** Аналіз існуючих та перспективних засобів віддаленого контролю та технічного діагностування пристроїв автоблокування показав, що існуючі системи мають недостатню інформативність, спрямовані здебільшого на контроль дискретних параметрів, що у свою чергу не дозволяє побудувати на їх основі підсистеми підтримки прийняття рішень. Запропоновано під час розробки нових систем технічного діагностування використовувати централізовано-розподілений принцип обробки діагностичних даних, включити до їх складу підсистему підтримки прийняття рішень, що дозволить зменшити кількість працевтрат на обслуговування пристроїв автоблокування та скоротити час на відновлення після виникнення пошкодження. **Наукова новизна.** У результаті досліджень виявлено, що існуючі засоби технічного контролю автоблокування не можуть надати повну оцінку стану перегінних пристроїв сигналізації та блокування, запропоновано критерії для розробки нових систем технічного діагностування зі збільшеною кількістю діагностичної інформації та її автоматичним аналізом. **Практична значимість.** Результати аналізу можуть бути використані на практиці для вибору засобу технічного контролю пристроїв автоблокування, а також для подальшої розробки систем діагностування автоблокування, що дозволяє здійснити поступовий перехід від планово-профілактичної моделі обслуговування до обслуговування за фактичним станом контрольованих пристроїв.

Ключові слова: автоблокування; системи диспетчерського контролю; діагностування; моніторинг; апаратно-програмні засоби; передвідмовний стан; об'єкти діагностування

Вступ

У сучасних умовах роботи залізничного транспорту України, для яких характерна його конкуренція з іншими видами транспорту, очевидно є необхідність підвищення конкуренто-

спроможності та ефективності роботи залізниць, розвитку їх транзитного та експортного потенціалу, пропускну здатності, збільшення швидкості руху, покращення якості обслуговування тощо. Ефективність перевізного процесу напряму пов'язана з надійністю при-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

строїв керування рухом поїздів та організацією їх технічного обслуговування. Основним напрямком підвищення ефективності обслуговування систем сигналізації та блокування є розробка автоматичних і автоматизованих систем контролю та керування [1, 7]. Значна кількість відмов систем сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) припадає на рейкові кола та систему числового кодового автоблокування, якою обладнано більше половини магістральних колій в Україні. Складність розробки пристроїв контролю та діагностування системи числового кодового автоблокування (ЧК АБ) пов'язана з їх автономністю та розміщенням апаратури на значних відстанях вздовж перегону.

Мета

Метою роботи є визначення основних напрямків розробки сучасної автоматизованої системи діагностування пристроїв ЧК АБ на основі аналітичного огляду існуючих та перспективних засобів технічного контролю систем, а також ефективності впровадження неперервного діагностування технічного стану пристроїв на перегоні.

Методика

Для досягнення поставленої мети було використано теоретико-аналітичний метод та метод функціонального аналізу об'єкта досліджень.

Аналіз роботи системи частотного диспетчерського контролю. Система частотного диспетчерського контролю (ЧДК) використовується на залізницях України з 1966 року та набула великого поширення.

Система дозволила поїзному диспетчеру візуально контролювати показання станційних світлофорів і рух поїздів на ділянці, а черговим по станції – рух поїздів на перегонах. Одночасно з її допомогою забезпечується дистанційне диспетчерське керування другорядними транспортними об'єктами, такими як прилади зв'язку та освітлення посадкових платформ, роз'єднувачі високовольтних ліній і т.д., а також автоматичний контроль стану найбільш відповідальних елементів перегінних пристроїв АБ і переїзної сигналізації [2].

У системі ЧДК передбачена трирівнева система контролю. Інформація від сигнальних

і переїзних установок автоблокування й автоматичної переїзної сигналізації (нижній рівень) безперервно надходить на проміжні станції (середній рівень). Після обробки вона передається на центральний пост поїзному диспетчеру й диспетчеру ШЧ (верхній рівень).

Як датчик зайнятості блок-дільниць і станційних колій у системі ЧДК використовуються контакти колійних реле. При числовому кодовому автоблокуванні колійне реле працює в імпульсному режимі, тому в систему диспетчерського контролю включаються контакти сигнального реле Ж, яке залежить від колійного реле і перебуває під струмом, якщо блок-дільниця вільна й у знеструмленому – якщо зайнята. Коли блок-дільниця вільна, у лінію посилюється сигнал тональної частоти, який сприймається відповідним приймачем на станції. Спрацьовує реле на його виході, контакти якого включають індикацію на табло в чергового по проміжній станції. Інформація про стан поїздів передається з перегонів на прилеглі станції по лінії подвійного зниження напруги від камертонних генераторів (ГК), що розміщуються в шафах автоблокування, і вузькосмугових приймачів, встановлених на станціях.

Частотні сигнали на проміжних станціях після ввідного щитка посилюються широкосмуговим підсилювачем УПДК-2 і надходять на входи восьми приймачів – ПК5-1...ПК5-8. Кожен приймач має два вузькосмугових підсилювачі із швидкодіючими реєструвальними реле, контакти яких керують режимами увімкнення ламп табло чергового по станції (ДСП) і підключені до входів розподільника РДК-2. Кожен вузькосмуговий підсилювач має один двоконтурний камертонний фільтр типу ПФ1-1...ПФ1-16. Передача інформації на центральний пост здійснюється циклічно за допомогою 32-тактного розподільника типу РДК-2, лінійного генератора однієї з модифікацій (ГЛЗ-1...ГЛЗ-15), блока керування роботою розподільника типу БУР, блока передачі інформації типу БПІ [7].

Прилади ЧДК також забезпечують безперервний контроль справності апаратури перегінних і переїзних пристроїв СЦБ. У разі виникнення пошкодження генератор диспетчерського контролю посилює в лінію кодовий сигнал, що сприймається на одній з прилеглих станцій. Відповідна лампа на табло в чергового починає блимати в такт з кодом, що передається, заго-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

ряючись в інтервалах і згасаючи в імпульсах. Розшифровка повідомлень про характер пошкоджень виконується ДСП візуально за режимом горіння контрольних ламп табло.

Система ЧДК часто використовується на залізницях України, але в її роботі можна виділити низку суттєвих недоліків. До них можна віднести застарілу елементну базу, що потребує ретельного контролю, точної настройки та періодичного ремонту. Обсяг діагностичних даних, який можна отримати за допомогою цієї системи, є недостатнім для повного аналізу стану пристроїв автоблокування. Також сприйняття інформації, що надається системою ЧДК, є досить незручним процесом, що потребує додаткових знань від електромеханіка та не гарантує її однозначного розшифрування, а як наслідок можливі помилки під час аналізу діагностичної інформації, що призводить до зайвих втрат у часі в ході пошуку та усунення несправностей. Система здатна передавати лише дискретну інформацію про стан обмеженої кількості об'єктів діагностування, що звужує можливості аналізу стану пристроїв автоблокування та зменшує вірогідність прийняття правильного рішення про необхідність ремонту. До того ж спорадичний принцип передачі інформації не забезпечує достатньої швидкості роботи системи, що стає особливо важливим, враховуючи сучасну тенденцію до збільшення швидкості руху потягів.

У результаті виконаного аналізу можна зробити висновок, що система частотного диспетчерського контролю не є системою технічного діагностування в сучасному розумінні цього терміну та не здатна якісно виконувати свої функції в умовах подальшого розвитку швидкісного руху.

Тому вважаємо, що подальший розвиток цієї системи в завданні діагностування пристроїв автоблокування не є раціональним. Необхідно шукати нові підходи до процесу збору та передачі діагностичної інформації, знаходити засоби, що дозволяють аналізувати не лише дискретні, а й неперервні параметри сигнальної установки, вносити функції автоматичного аналізу та прийняття попереднього рішення.

Аналіз роботи системи автоматизованого диспетчерського контролю. Більш сучасною, з позиції обладнання, що використовується, та обсягу діагностичних функцій, порівняно із

системою ЧДК є автоматизована система диспетчерського контролю (АСДК), яка є апаратно-програмним комплексом, що забезпечує диспетчерський контроль стану окремих вузлів та пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку, поїзних пересувань, вільності та зайнятості приймально-відправних колій, рейкових кіл та блок-дільниць перегону, стану переїздів, входних і вихідних світлофорів на станції та інші функції [4]. Система АСДК виконує збір, обробку та передачу у власну мережу цифрової та аналогової інформації з пристроїв СЦБ на станціях та перегонах, виявлення їх передбачуваних станів та реєстрацію відмов у режимі реального часу.

Система технічного діагностування та моніторингу АСДК являю собою багаторівневу інформаційну мережу. Технічні та програмні засоби нижнього рівня призначені для збору, первинної обробки інформації про стан пристроїв на станціях та перегонах, а також її концентрації на лінійних пунктах системи, що розташовані на постах електричної централізації. Вони складаються з електричних датчиків стану контрольованих технічних засобів і контролерів диспетчерського контролю.

Апаратно-програмні засоби верхнього рівня являють собою автоматизовані робочі місця (АРМ), для оперативного та технічного персоналу, а також локальні обчислювальні мережі на станціях та центральних постах. На цьому рівні виконується приймання та маршрутизація потоків інформації від контролерів диспетчерського контролю, її обробка та виведення на відповідне АРМ мережі АСДК. Також на цьому рівні здійснюється її зв'язок із зовнішніми обчислювальними системами, зокрема автоматизованою системою оперативного керування (АСОУП), та автоматизованою системою служби СЦБ.

Як канал зв'язку використовуються фізичні волоконно-оптичні лінії зв'язку.

Керування системою та відображення діагностичної інформації виконується за допомогою автоматизованих робочих місць відповідних працівників. Кожне АРМ реалізує певні загальносистемні функції, такі як: графічне відображення на екрані монітора у вигляді мнемосхеми інформації про реальний стан пристроїв СЦБ, ведення системних протоколів, протоколів роботи пристроїв СЦБ та дій персо-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

налу, стан зв'язку між елементами системи, відображення інформації в разі виникнення позаштатних ситуацій, налаштування та коректування системних параметрів [9, 10].

АРМ кожного конкретного типу користувачів має певні особливості, що пов'язані з характером роботи користувача та доповнюються характерними програмними засобами та підсистемами.

Отже, можна зробити висновки, що система АСДК являє собою сучасну багатофункціональну систему діагностики та моніторингу, відповідає всім вимогам до систем такого класу та виконує різноманітні функції, пов'язані з автоматизацією керування рухом поїздів та збором, збереженням та відображенням діагностичної інформації, яка використовується під час прийняття рішень відповідними працівниками.

Однак водночас у системі АСДК можна виділити низку недоліків, до яких слід віднести недостатньо повний збір інформації про стан пристроїв автоблокування, малу кількість аналогової інформації, що не дозволяє визначити всі можливі варіанти відмов в системах автоблокування. Відсутність ґрунтового автоматичного аналізу діагностичної інформації не дає змоги визначати місце та тип відмов у роботі пристроїв СЦБ та перекладає завдання аналізу на інженерний та експлуатаційно-технічний персонал дистанції сигналізації та зв'язку.

Систему АСДК можна брати за основу під час розробки нових систем технічної діагностики пристроїв автоблокування, враховуючи виявлені її недоліки.

Огляд роботи апаратно-програмного комплексу диспетчерського контролю. Апаратно-програмний комплекс диспетчерського контролю (АПК-ДК) призначений для централізованого контролю, діагностики технічного стану автоблокування, а також організації керування рухом поїздів у рамках диспетчерського кола [11].

На відміну від вищеназваних систем, у АПК-ДК широко використовуються засоби сучасної обчислювальної техніки, що дозволило значно розширити функціональні можливості системи в завданнях як реєстрації стану об'єктів діагностування, так і аналізу та прогнозування стану апаратури сигнальних установок. Це значний крок у переході від планово-профілактичного методу обслуговування при-

строїв автоблокування, який загальноприйнятий на залізницях України, до обслуговування за фактичним станом об'єктів контролю.

Таким чином, система АПК-ДК виконує такі головні функції: оперативне знімання інформації про стан блок-дільниць перегону, рейкових кіл, світлофорів та інших засобів автоматики й передавання її на лінійні пункти системи, що розташовані на станціях; передача інформації для її використання поїзним диспетчером, диспетчером ШЧ та іншими відповідальними працівниками як на рівні відділення залізниці, так і на рівні управління відповідних служб.

Діагностичні функції системи виражені в можливостях логічного визначення хибної вільності блок-дільниці та попарного зближення потягів, аналізу роботи пристроїв, виявлення їх передвідмовного стану, оптимізації пошуку та усунення відмови, можливості архівації та відновлення подій, а також ведення обліку ресурсу пристроїв за їх фактичним напруцюванням [5, 8].

Структура системи АПК-ДК включає три підсистеми, що реалізовані з використанням програмованих контролерів, промислових комп'ютерів та спеціального програмного забезпечення, а також каналів зв'язку між ними, що дозволяє організувати обчислювальну мережу та автоматизовані робочі місця користувачів.

На нижньому рівні виконується збирання, перетворення та концентрація інформації про стан перегінних та станційних пристроїв СЦБ. Вона відображається на АРМ чергового по станції та чергового електромеханіка, а також передається на другий рівень системи та на АРМ поїзного диспетчера та диспетчера ШЧ.

Інформацію про стан перегінних пристроїв отримують за допомогою автоматики контролю сигнальних точок (АКСТ), що виконана на базі спеціалізованих контролерів. Найбільше поширення має блок АКСТ-СЧМ, який являє собою генератор частоти, що формує циклічні восьмиімпульсні частотні посилення в лінію зв'язку відповідно до стану контрольованих об'єктів. При восьми вихідних імпульсах завдяки маніпуляції за тривалістю імпульсів та інтервалів виникає можливість контролювати стан семи дискретних і двох порогових датчиків. Інформація про стан станційних пристроїв вводиться в систему за допомогою програмованих індустриальних контролерів ПИК-10 та ПИК-120.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Зібрана інформація далі надходить до підсистеми середнього рівня двома послідовними лініями типу потокова петля або конвертором RS-485 [6, 12].

Підсистема середнього рівня складається з концентраторів лінійного поста, які збирають інформацію від підсистеми нижнього рівня, та забезпечують її обробку, зберігання, архівацію та передачу іншим концентраторам центрального поста. Концентратори, що виконані на базі промислових комп'ютерів, об'єднуються в мережу передачі даних, яка забезпечує обмін інформацією з підсистемою верхнього рівня.

Верхній рівень системи складається з інформаційного та програмного забезпечення верхнього рівня, яке дозволяє реалізувати виконання спеціальних технологічних функцій та організувати різноманітні види АРМ відповідальних працівників: поїзного диспетчера, диспетчера ШЧ, диспетчера залізничного вузла, оператора обліку вагонів та інших, а також забезпечує обмін інформацією з іншими інформаційними системами та АРМ працівників рівня управління залізниці та відповідних служб.

З усього вищепереліченого можна зробити висновок, що система АПК-ДК є сучасним комплексом технічної діагностики та моніторингу роботи пристроїв СЦБ, що виконує широкий спектр завдань, які висувуються до сучасних систем діагностики. Завдяки модульній структурі системи весь комплекс програмного забезпечення є більш гнучким щодо можливості додавання нових завдань, без зміни всього комплексу. Використання АПК-ДК дозволяє модернізувати процес керування рухом поїздів, автоматизувати велику кількість рутинної роботи з обслуговування пристроїв автоблокування, пришвидшити процес пошуку несправностей та зменшити їх загальну кількість за рахунок виявлення передвідмовних ситуацій.

З урахуванням усіх названих переваг цієї системи в ній все ж таки можна виявити деякі недоліки, серед яких: недостатня кількість вимірювальних параметрів сигнальної установки автоблокування, що не дає можливості повністю автоматизувати роботу з перевірки параметрів системи, також відсутній вибір діагностичної інформації за її якістю, не повною мірою виконані функції прогнозування стану апаратури автоблокування.

Таким чином, систему АПК-ДК можна ви-

користати як основу для подальших розробок систем діагностування пристроїв автоблокування, враховуючи вказані недоліки.

Аналіз роботи системи технічної діагностики пристроїв автоблокування та автоматичної переїзної сигналізації. Система технічної діагностики пристроїв автоблокування та автоматичної переїзної сигналізації (СДТС-АПС) призначена для автоматизації функції контролю та діагностування стану сигнальних точок числового кодового автоблокування та автоматичної переїзної сигналізації [12].

Основні стратегічні завдання, що виконує система СДТС-АПС, це: збір і первинна обробка інформації для систем віддаленого моніторингу технічного стану сигнальної точки автоблокування, підвищення надійності функціонування системи автоблокування за рахунок прогнозування технічного стану пристроїв залізничної автоматики та оперативного виявлення факту та причини відмови, впровадження технологій обслуговування з мінімальною кількістю персоналу, завдяки автоматичному виконанню графіка роботи з обслуговування сигнальної точки, заміна генераторів і станційного обладнання ЧДК.

Система СДТС-АПС побудована за ієрархічним принципом та включає лінійні пункти діагностування, що поділяються на станційний та перегінний рівні, і центральний пост діагностування і моніторингу. Перегінний рівень містить лінійне перегінне обладнання, а саме функціональні контролери типу КДСТ-ДС, за допомогою яких здійснюють збирання дискретної інформації про стан пристроїв сигнальної установки, вимірювання часових характеристик кодової апаратури. Напругу в контрольних точках вимірює контролер типу КДСТ-АС, за якістю електроживлення на основному та резервному фідерах стежить контролер КДСТ-ФД. Взаємозв'язана робота цих контролерів дозволяє виявляти передвідмовні стани апаратури й відхилення параметрів від встановлених норм, формує передачу діагностичної інформації на станційний рівень по лінії ДСН або виділеній фізичній лінії зі швидкістю 9 600 Бод.

Інформація від усіх сигнальних установок надходить на концентратор КДСТ-СВ, який увімкнений у локальну мережу з інтерфейсом RS-485 з лінійним концентратором інформації ЛКИ, який керує лампами на пульт-табло чер-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

гового по станції та автоматизованого робочого місця електромеханіка.

Діагностична інформація зберігається та відображається на АРМ електромеханіка у вигляді мнемосхем, таблиць та графіків. Далі діагностична інформація про стан сигнальних установок та результати вимірювань передається на вищий рівень центрального поста діагностики та моніторингу. Час доставки інформації від перегінного обладнання до АРМ електромеханіка становить не більше 5 с. Для аналізу відмов передбачене програмне забезпечення для протоколювання передвідмовних і відмовних станів відповідно до необхідних параметрів [7, 3].

Проаналізована система має великі функціональні можливості та можливості з діагностування стану пристроїв автоблокування та автоматичної переїзної сигналізації, використовує сучасну елементну базу та використовується як основний функціональний вузол для центрів діагностування та моніторингу.

Попри це процеси аналізу та відображення діагностичної інформації все-таки потребують удосконалення.

Результати

На основі аналізу існуючих та перспективних засобів технічного контролю систем числового кодового автоблокування визначено, що основним недоліком існуючих систем є недостатня кількість контрольованих параметрів, зокрема це стосується рейкових кіл. Обмеженість інформації, яка передається на станцію, суттєво зменшує ефективність контролю, що зводиться практично тільки до працездатності пристроїв.

Збільшення параметрів (дискретних та аналогових), що контролюються та передаються на станцію, суттєво ускладнює та збільшує вартість системи. Розв'язати цю суперечність можливо через розробку централізовано-розподіленої системи з розміщенням АРМ електромеханіка на станції і локальних контролерів на сигнальних точках [13, 14].

З урахуванням неповної інформації, що передається на центральний комп'ютер, великої кількості випадкових факторів, що діють на рейкові кола та на систему ЧК АБ в цілому, а також розмитості критеріїв працездатного

стану окремих вузлів ЧК АБ система має включати інтелектуальну підтримку прийняття рішення в умовах неповної інформації та нечітких умов.

Наукова новизна та практична значимість

У результаті аналізу виявлено, що існуючі засоби технічного контролю автоблокування не можуть надати повну оцінку стану перегінних пристроїв сигналізації та блокування, запропоновано критерії до розробки нових систем технічного діагностування зі збільшеною кількістю діагностичної інформації та її автоматичним аналізом.

Результати аналізу можуть бути використані на практиці для вибору засобу технічного контролю пристроїв автоблокування, а також для подальшої розробки систем діагностування автоблокування, що дозволяє здійснити поступовий перехід від планово-профілактичної моделі обслуговування до обслуговування за фактичним станом контрольованих пристроїв.

Висновки

Існуючі засоби технічного контролю пристроїв автоблокування не можуть надати повної інформації про стан пристроїв ЧК АБ. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки нових діагностичних комплексів з урахуванням розширення обсягу діагностичної інформації та впровадженням функції її автоматичного аналізу з метою автоматичного встановлення ситуаційного діагнозу стану пристроїв ЧК АБ та, в разі виникнення відмови, автоматичної локалізації її причини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1978. – 240 с.
2. Бойник, А. Б. Диагностирование устройств автоматики и агрегатных единиц / под ред. А. Б. Бойника и др. – Х. : ЧП Изд-во «Новое слово», 2008. – 304 с.
3. Бондаренко, Б. М. Повышение безопасности движения поездов путем усовершенствования процесса диагностики приборов железнодорожной автоматики / Б. М. Бондаренко // Вісн.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 7–11.
4. Газов, О. К. Системы диспетчерской централизации / О. К. Газов, В. А. Кононов, А. Б. Никитин. – М. : Маршрут, 2002. – 407 с.
 5. Дмитренко, И. Е. Техническая диагностика и автоконтроль систем железнодорожной автоматики и телемеханики / И. Е. Дмитренко. – М. : Транспорт, 1986. – 144 с.
 6. Дунаев, Д. В. Анализ отказов и методы контроля рельсовых цепей / Д. В. Дунаев, И. О. Романцев, В. И. Гаврилюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 32. – С. 212–217.
 7. Протопов, О. В. Система диагностики технических средств автоблокировки и переездной сигнализации / О. В. Протопов, А. Б. Мозжевилов // Автоматика, связь и информатика. – 2008. – № 12. – С. 5–8.
 8. Сапожников, В. В. Основы технической диагностики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – М. : Маршрут, 2004. – 318 с.
 9. Сапожников, Вл. В. Системы диспетчерской централизации / под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2002. – 407 с.
 10. Сфарбаков, А. М. Основы технической диагностики / А. М. Сфарбаков, А. В. Лукьянов, С. В. Пахомов. – Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2006. – 216 с.
 11. Федорчук, А. Е. Новые информационные технологии: автоматизация технического диагностирования и мониторинга устройств ЖАТ / А. Е. Федорчук, А. А. Сепетий, В. Н. Иванченко. – Ростов : Изд-во РостГУПС, 2008. – 443 с.
 12. Шаблин, А. Н. Центр технической диагностики и мониторинга на Октябрьской дороге / А. Н. Шаблин, Г. Ф. Наносов, П. А. Капуста // Автоматика, связь и информатика. – 2007. – № 5. – С. 23–25.
 13. Mascardi, V. Monitoring and diagnosis railway signaling / V. Mascardi, D. Briola, M. Martelli // Intern. Workshop on Computational Intelligence in Security for Information Systems. – Genova : University of Genova, 2008. – P. 23–31.
 14. Zoetewij, P. Automated fault diagnosis in embedded systems / P. Zoetewij, J. Pietersma, R. Abreu // Proc. of the 2nd IEEE Intern. Conf. on Secure Systems Integration and Reliability Improvement. – Yokohama : IEEE, 2008. – P. 103–110.

А. М. БЕЗНАРЫТНЫЙ^{1*}, В. И. ГАВРИЛЮК¹

^{1*}Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепрпетровск, Украина, 49010, тел +38 (056) 373 15 04, факс +38 (0562) 471 866, эл. почта beznarytny.am@gmail.com

¹Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепрпетровск, Украина, 49010, тел +38 (056) 373 15 04

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СИСТЕМЫ ЧИСЛОВОЙ КОДОВОЙ АВТОБЛОКИРОВКИ

Цель. Выявление характерных особенностей работы средств технического контроля системы числовой кодовой автоблокировки, их преимуществ и недостатков, анализ возможности их использования для диагностирования состояния устройств автоблокировки и постановка задач для разработки новых диагностических комплексов. **Методика.** Для достижения поставленной цели были использованы теоретико-аналитический метод и метод функционального анализа. **Результаты.** Анализ существующих и перспективных средств удаленного контроля и технического диагностирования устройств автоблокировки показал, что существующие системы имеют недостаточную информативность, направлены в основном на контроль дискретных параметров, что, в свою очередь, не позволяет построить на их основе подсистемы поддержки принятия решений. Предложено при разработке новых систем технического диагностирования использовать централизованно-распределенный принцип обработки диагностических данных, включить в их состав подсистему поддержки принятия решений, что позволит уменьшить количество трудозатрат на обслуживание устройств автоблокировки и сократить время на восстановление после возникновения повреждения. **Научная новизна.** В результате исследований выявлено, что существующие средства технического контроля автоблокировки не могут предоставить полную оценку состояния перегонных устройств сигнализации и блокировки, предложены критерии для разработки новых систем технического диагностирования с увеличением количества диагностической информации и ее автоматическим анализом. **Практическая значимость.** Результаты анализа могут быть использованы на практике для выбора средства технического контроля устройств автобло-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

кировки, а также при дальнейшей разработке систем диагностирования автоблокировки, что позволяет провести постепенный переход от планово-профилактической модели обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию контролируемых устройств.

Ключевые слова: автоблокировка; системы диспетчерского контроля; диагностирование; мониторинг; аппаратно-программные средства; предотказное состояние; объекты диагностирования

A. M. BEZNARYTNYI^{1*}, V. I. GAVRILYUK¹

^{1*}Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel +38 (056) 373 15 04, fax +38 (0562) 471 866, e-mail beznarytny.am@gmail.com.

¹Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel +38 (056) 373 15 04

ANALYSIS OF EXISTING AND PROSPECTIVE TECHNICAL CONTROL SYSTEMS OF NUMERIC CODES AUTOMATIC BLOCKING

Purpose. To identify the characteristic features of the engineering control measures system of automatic block of numeric code, identifying their advantages and disadvantages, to analyze the possibility of their use in the problems of diagnosing status of the devices automatic block and setting targets for the development of new diagnostic systems. **Methodology.** In order to achieve targets the objective theoretical and analytical method and the method of functional analysis have been used. **Findings.** The analysis of existing and future facilities of the remote control and diagnostics automatic block devices had shown that the existing systems of diagnosis were not sufficiently informative, designed primarily to control the discrete parameters, which in turn did not allow them to construct a decision support subsystem. In developing of new systems of technical diagnostics it was proposed to use the principle of centralized distributed processing of diagnostic data, to include a subsystem support decision-making in to the diagnostics system, it will reduce the amount of work to maintain the devices blocking and reduce recovery time after the occurrence injury. **Originality.** As a result, the currently existing engineering controls facilities of automatic block can not provide a full assessment of the state distillation alarms and locks. Criteria for the development of new systems of technical diagnostics with increasing amounts of diagnostic information and its automatic analysis were proposed. **Practical value.** These results of the analysis can be used in practice in order to select the technical control of automatic block devices, as well as the further development of diagnostic systems automatic block that allows for a gradual transition from a planned preventive maintenance service model to the actual state of the monitored devices.

Keywords: automatic block systems; dispatcher control; diagnosis; monitoring; hardware and software; state before failure; objects of diagnosis

REFERENCES

1. Birger I.A. *Tekhnicheskaya diagnostika* [Technical diagnostics]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1978, 240 p.
2. Boynik A.B. *Diagnostirovaniye ustroystv avtomatiki i agregatnykh yedinits* [Diagnosis of automatic devices and modular units]. ChP Izd-vo «Novoye slovo», 2008. 304 p.
3. Bondarenko B.M. *Povysheniye bezopasnosti dvizheniya poyezdov putem usovershenstvovaniya protsessu diagnostiki priborov zheleznodorozhnoy avtomatiki* [Improving of trains movement safety with the way of process enhancement of railway automation diagnosis devices]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 7-11.
4. Gazov O.K., Kononov V.A., Nikitin A.B. *Sistemy dispetcherskoy tseentralizatsii* [Centralized dispatching systems]. Moscow, Marshrut Publ., 2002. 407 p.
5. Dmitrenko I.Ye. *Tekhnicheskaya diagnostika i avtokontrol sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Technical diagnostics and auto control of railway automation and telemechanics systems]. Moscow, Transport Publ., 1986. 144 p.
6. Dunayev D.V., Romantsev I.O., Gavrilyuk V.I. *Analiz otkazov i metody kontrolya relsovykh tsepey* [Failure analysis techniques and controlled the middle of track circuits]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho uni-*

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- versytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 32, pp. 212-217.
7. Protopov O.V., Mozzhevilov A.B. Sistema diagnostiki tekhnicheskikh sredstv avtoblokirovki i pereyezdnoy signalizatsii [Diagnosis technical means of blocking and level crossing signalization]. *Avtomatika, svyaz i informatika – Automation, communications and computer science*, 2008, no. 12, pp. 5-8.
 8. Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.I.V. *Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki* [Basics of technical diagnostic]. Moscow, Marshrut Publ., 2004. 318 p.
 9. Sapozhnikov V.I.V. *Sistemy dispetcherskoy tsentralizatsii* [Systems of centralized traffic control]. Moscow, Marshrut Publ., 2002. 407 p.
 10. Sfarbakov A.M., Lukyanov A.V., Pakhomov S.V. *Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki* [Basics of technical diagnostic]. Irkutsk, Izd-vo IrGUPS Publ., 2006. 216 p.
 11. Fedorchuk A.Ye., Sepetiy A.A., Ivanchenko V.N. *Novyye informatsionnyye tekhnologii: avtomatizatsiya tekhnicheskogo diagnostirovaniya i monitoringa ustroystv ZhAT* [New information technology: the automation of technical diagnostics and monitoring devices]. Rostov, Izd-vo RostGUPS Publ., 2008. 443 p.
 12. Shablin A.N., Nanosov G.F., Kapusta P.A. Tsentr tekhnicheskoy diagnostiki i monitoringa na Oktyabrskoy doroge [Center of technical diagnostics and monitoring on in the October road]. *Avtomatika, svyaz i informatika – Automation, Communications and Informatics*, 2007, no. 5, pp. 23-25.
 13. Mascardi V., Briola D., Martelli M. Monitoring and diagnosis railway signaling. International Workshop on Computational Intelligence in Security for Information Systems. Genova, 2008, pp. 23-31.
 14. Zoetewij P., Pietersma J., Abreu R. Automated fault diagnosis in embedded systems. Proc. of the 2nd IEEE Intern. Conf. on Secure Systems Integration and Reliability Improvement. Yokohama, IEEE Publ., 2008, pp. 103-110.

Стаття рекомендована до публікації д.фіз.-мат.н., проф. О. В. Коваленком (Україна); к.т.н, доц. О. М. Самковим (Україна)

Надійшла до редколегії 02.09.2013

Прийнята до друку 10.09.2013

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 338.242:67.05

Ю. В. ГУСАК^{1*}

^{1*}Каф. «Менеджмент і маркетинг в міському господарстві», Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Революції, 12, Харків, Україна, 61002, тел. +38 (057) 707 31 13, ел. пошта iul.gusack@yandex.ru

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ОРГАНІЗАЦІЙНО-РЕСУРСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

Мета. Машинобудування характеризується глибокою спеціалізацією та високою кооперацією, що передбачає високий ступінь взаємодії з іншими галузями промисловості й економіки країни в цілому, вкрай високу чутливість до впливу зовнішніх факторів. Ефективне державне регулювання організаційно-ресурсного забезпечення машинобудування сприятиме злагодженості дій усіх підсистем ринкової економіки, створенню конкурентного середовища, повноцінному перебігу інвестиційних процесів і успішному функціонуванню галузі. Тому постає необхідність у детальній оцінці та аналізі впливу зовнішніх факторів на показники формування й реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі. **Методика.** Для встановлення тісноти зв'язку між сукупністю зовнішніх факторів, що впливають на формування й реалізацію організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі, та відповідними результуючими показниками був використаний кореляційний аналіз; для розрахунку величини зміни цих показників застосовувалися коефіцієнти еластичності. **Результати.** Виокремлено зовнішні фактори впливу на організаційно-ресурсне забезпечення машинобудівної галузі та виконано їх групування за джерелами походження на виробничі, економічні, політичні, інформаційні й соціальні. Здійснено класифікацію зовнішніх факторів залежно від спрямованості їх впливу на показники формування й реалізації організаційно-ресурсного забезпечення. Визначено тісноту зв'язку та величини зміни показників формування й реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі (індекс продукції машинобудування та індекс обсягу реалізованої продукції машинобудування) під впливом сукупності зовнішніх факторів. **Наукова новизна.** Удосконалено оцінку впливу зовнішніх факторів на організаційно-ресурсне забезпечення машинобудівної галузі, що дозволяє виявити найбільш впливові зовнішні фактори та кількісну величину зміни показників формування й реалізації організаційно-ресурсного забезпечення. **Практична значимість.** Оцінка впливу зовнішніх факторів на організаційно-ресурсне забезпечення машинобудівної галузі дає можливість виявити, розробити й корегувати необхідні та ефективні важелі державного регулювання.

Ключові слова: організаційно-ресурсне забезпечення; машинобудівна галузь; зовнішній фактор впливу; підприємство; коефіцієнт кореляції; коефіцієнт еластичності

Вступ

Широкий спектр питань, пов'язаних з концептуальною основою аналізу, оцінки та управління організаційно-ресурсним забезпеченням (ОРЗ), розкривається в працях таких вчених, як О. Амоша, Н. Білопольський,

М. Долішний, С. Дорогунцев, Н. Лук'янченков, В. Максимов, В. Мартиненко, А. Полянська, І. Потравневий, М. Чумаченко, І. Швець та ін. Проте проблема дослідження оцінки впливу зовнішніх факторів на організаційно-ресурсне забезпечення машинобудівної галузі практично не знайшла свого висвітлення.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Плануючи діяльність підприємств машинобудівної галузі, прогножуючи її ефективність, необхідно враховувати вплив зовнішніх факторів на організаційно-ресурсне забезпечення. Це визначає доцільність постійного моніторингу характеру зовнішніх факторів, ступеня їх впливу, ймовірних змін у процесі управління організаційно-ресурсним забезпеченням підприємств. Це свідчить про необхідність розробки і впровадження ефективних заходів державного регулювання організаційно-ресурсного забезпечення для підтримки зростання й розвитку машинобудування.

Мета

Від ступеня розвитку машинобудування залежить науково-технічний прогрес економіки країни, адже ця галузь промисловості забезпечує інвестиційний напрям діяльності підприємств (створює високотехнологічні основні засоби). Ефективне організаційно-ресурсне забезпечення формує основу і сприяє інтенсивному зростанню машинобудування, воно нерозривно пов'язано з іншими галузями економіки країни, схильне до впливу зовнішніх виробничих, економічних, політичних, інформаційних і соціальних факторів. Тому головною метою статті є оцінка та аналіз впливу зовнішніх факторів на показники формування й реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі.

Методика

Для встановлення тісноти зв'язку між сукупністю зовнішніх факторів, що впливають на формування й реалізацію організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі, та відповідними результуючими показниками був використаний кореляційний аналіз, для оцінки тісноти цього зв'язку пропонується застосовувати таблицю Чеддока. Для розрахунку величини зміни показників формування й реалізації організаційно-ресурсного забезпечення під впливом зовнішніх факторів використовувалися коефіцієнти еластичності.

Результати

Оцінка впливу зовнішніх факторів на організаційно-ресурсне забезпечення машинобудівної галузі складається з семи послідовних етапів:

1. Дослідження зовнішнього середовища машинобудівної галузі.

2. Ідентифікація зовнішніх факторів впливу на організаційно-ресурсне забезпечення машинобудівної галузі.

3. Групування зовнішніх факторів впливу на організаційно-ресурсне забезпечення машинобудівної галузі за джерелами походження на виробничі, економічні, політичні, інформаційні й соціальні.

4. Класифікація зовнішніх факторів залежно від спрямованості їх впливу на показники формування й реалізації ОРЗ машинобудівної галузі.

Зовнішні фактори можна розділити на ті, які впливають на формування, і ті, які впливають на реалізацію організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі. Індекс продукції машинобудування є результуючим показником, вирішальний вплив на який чинять зовнішні фактори формування ОРЗ. А індекс обсягу реалізованої продукції машинобудування є результуючим показником, вирішальний вплив на який чинять зовнішні фактори реалізації ОРЗ. Такий поділ дозволяє відстежити спрямованість і часову відмінність впливу зовнішніх факторів на операційний цикл машинобудівних підприємств. Зовнішні фактори формування ОРЗ впливають на можливість, обсяг, ефективність процесу створення продукції машинобудування (тобто зі сторони «входу» факторів виробництва на підприємство), а зовнішні фактори реалізації ОРЗ – на розмір, результативність і успішність процесу продажу виготовленої продукції машинобудування (тобто зі сторони «виходу» факторів виробництва з підприємства). Цей поділ дозволяє здійснювати своєчасне відстеження, поточний контроль, виявлення слабких місць у всьому процесі виготовлення та реалізації продукції підприємствами машинобудування.

5. Встановлення тісноти зв'язку між сукупністю зовнішніх факторів, що впливають на формування й реалізацію ОРЗ, та відповідними результуючими показниками (індексом продукції машинобудування і індексом обсягу реалізованої продукції машинобудування) за допомогою кореляційного аналізу.

6. Розрахунок величини зміни показників формування й реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі під впливом зовнішніх факторів з викорис-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

танням коефіцієнтів еластичності. Коефіцієнт еластичності ($E_{ПОРЗ_N, 3\Phi_i}$) показує, на скільки відсотків зміниться величина результуючої змінної (показники формування або реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі), якщо величина факторної змінної (зовнішні фактори впливу) зміниться на 1 %. Розраховується за формулою

$$E_{ПОРЗ_N, 3\Phi_i} = \frac{ПОРЗ_N^{(t)} - ПОРЗ_N^{(t-1)}}{ПОРЗ_N^{(t-1)}} : \frac{3\Phi_{i(t)} - 3\Phi_{i(t-1)}}{3\Phi_{i(t-1)}} 100 \%, \quad (1)$$

де $ПОРЗ_N^{(t)}$, $ПОРЗ_N^{(t-1)}$ – показники формування або реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі в періодах (t) і $(t-1)$ відповідно; $3\Phi_{i(t)}$, $3\Phi_{i(t-1)}$ – i -й зовнішній фактор впливу на показник формування або реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі в періодах (t) і $(t-1)$.

Залежно від знака при коефіцієнті еластичності між результуючою і факторною змінними може спостерігатися:

1) пряма залежність, коли зростання зовнішнього фактора впливу викликає зростання показників формування або реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі $E_{ПОРЗ_N, 3\Phi_i} > 0$;

2) обернена залежність, коли зростання зовнішнього фактора впливу викликає зменшення показників формування або реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі $E_{ПОРЗ_N, 3\Phi_i} < 0$.

Залежно від абсолютної величини коефіцієнта еластичності вирізняють:

1) $E_{ПОРЗ_N, 3\Phi_i} = \infty$, або абсолютна еластичність, коли незначна зміна зовнішнього фактора впливу збільшує (зменшує) показники формування або реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі на необмежену величину;

2) $\left| E_{ПОРЗ_N, 3\Phi_i} \right| > 1$, або еластичний

вплив, коли показник формування або реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі змінюється більшими темпами, аніж зовнішній фактор, який на нього впливає;

3) $E_{ПОРЗ_N, 3\Phi_i} = 1$, або одинична еластичність впливу, коли показник формування або реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі змінюється з тим самим темпом, що і зовнішній фактор, який на нього впливає;

4) $0 < \left| E_{ПОРЗ_N, 3\Phi_i} \right| < 1$, або нееластич-

ний вплив, коли темпи зростання показника формування або реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі змінюються повільніше, аніж зовнішній фактор, що на нього впливає [1].

7. Використання результатів оцінки впливу зовнішніх факторів для підвищення ефективності напрямів державного регулювання організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі.

Виконавши розрахунки відповідно до охарактеризованих вище етапів оцінки впливу зовнішніх факторів на організаційно-ресурсне забезпечення машинобудівної галузі, можна зауважити, що найвища тіснота зв'язку простежується між показником формування організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі і такими зовнішніми факторами впливу (за джерелами походження): серед виробничих – індекс цін на виробництво та розподіл електроенергії, газу та води; серед економічних – індекс середнього офіційного курсу національної грошової одиниці до дол. США, встановлений Національним банком України; серед політичних – індекс пред'явленого екологічного податку підприємствам, установам, організаціям; серед інформаційних – індекс платежів за використання інтелектуальної власності в платіжному балансі; серед соціальних – індекс середньомісячної номінальної заробітної плати працівників у

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

машинобудуванні.

Також емпіричні розрахунки показали, що найвища тіснота зв'язку спостерігається між показником реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі й такими зовнішніми факторами впливу (за джерелами походження): серед виробничих – індекс обсягу виконаних наукових та науково-технічних робіт; серед економічних – індекс валового нагромадження основного капіталу (у ВВП); серед політичних – індекс інвестицій в основний капітал з коштів державного і місцевих бюджетів; серед інформаційних – індекс обсягу реалізованої інноваційної продукції машинобудування; серед соціальних – індекс реального наявного доходу до попереднього року.

Так, аналіз коефіцієнтів еластичності показника формування організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі свідчить про те, що виробничі зовнішні фактори в цілому здійснюють обернений еластичний вплив на індекс продукції машинобудування, що пояснюється негативним впливом зростання вартості факторів виробництва на обсяг виготовленої машинобудівної продукції. Усі економічні зовнішні фактори здійснюють обернений еластичний вплив на індекс продукції машинобудування. Вплив зовнішнього політичного фактору – індекс пред'явленого екологічного податку підприємствам, установам, організаціям – характеризується як обернений еластичний, збільшення цього показника на 1 % зумовить спад індексу продукції машинобудування на 5,36 %. Адже машинобудівні підприємства є одними з основних забруднювачів навколишнього середовища, і більш суворя політика держави у галузі екологічної безпеки зумовлює необхідність модернізації діючого обладнання, додаткового впровадження очисних споруд або навіть ліквідації певних технологічних ліній, що призводить до скорочення обсягу виготовленої продукції. Зовнішній інформаційний фактор впливу – індекс платежів за використання інтелектуальної власності у платіжному балансі – прямо еластично впливає на показник формування організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі. Найбільший прямий еластичний вплив чинить такий зовнішній соціальний фактор, як індекс середньомісячної номінальної заробітної плати працівників у машинобудуванні, тобто продуктивність праці

зростає випереджаючими темпами, порівняно зі збільшенням заробітної праці найманих працівників у машинобудівній галузі.

Виробничі зовнішні фактори в цілому мають прямий еластичний вплив на індекс обсягу реалізованої продукції машинобудування. Так, високим є ступінь впливу виробничого зовнішнього фактора впливу – індекс капітальних інвестицій у машини, обладнання та транспортні засоби. Очевидно, що чим вищими є обсяг капітальних інвестицій споживачів машинобудівної продукції, тим вищий обсяг її реалізації. Зростання економічного зовнішнього фактора – індексу цін на продукцію машинобудування – обернено еластично впливає на показник реалізації організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі, адже здорожчання цін на продукцію машинобудування скорочує платоспроможний попит на неї. Зростання політичного фактора – індексу податкового навантаження – на 1 % зумовлює зменшення індексу обсягу реалізованої продукції машинобудування на 2,53 %. Величина податкового навантаження, яка розраховується Всесвітнім банком, для України тримається на вкрай високому рівні (від 56,6 % у 2007 р. до 55,4 % у 2012 р.). І подальше зростання цього показника негативно впливає на ділову активність машинобудівних підприємств і обсяг реалізації їх продукції. Соціальний фактор – індекс реального наявного доходу – прямо еластично впливає на показник формування організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі, адже зростання реального доходу населення (врешті-решт – кінцевих споживачів машинобудівної продукції) прямо чи опосередковано позитивно впливає на темп приросту обсягу реалізованої продукції машинобудування.

Наукова новизна та практична значимість

Удосконалено оцінку впливу зовнішніх факторів на організаційно-ресурсне забезпечення машинобудівної галузі, що дозволяє виявити найбільш впливові зовнішні фактори та кількісні величини зміни показників формування й реалізації організаційно-ресурсного забезпечення. Показовим є прямий еластичний вплив індексу обсягу фінансування інноваційної діяльності машинобудівних підприємств з держа-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

вного бюджету на показник формування ОРЗ і індексу інвестицій в основний капітал з коштів державного і місцевих бюджетів на показник реалізації ОРЗ, що свідчить про важливість державного регулювання й підтримки організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі. Отже, оцінка впливу зовнішніх факторів на організаційно-ресурсне забезпечення машинобудівної галузі дозволяє виявити, розробити й корегувати необхідні та ефективні важелі державного регулювання.

Висновки

Державне регулювання організаційно-ресурсного забезпечення провідної галузі промисловості України – машинобудування суттєво впливає на ступінь його розвитку, загальний економічний, промисловий і науковий рівень країни. Від машинобудування залежить технічний розвиток економіки, адже ця галузь промисловості створює інвестиційні (високопродуктивні засоби виробництва) та споживчі товари тривалого користування, які визначають рівень якості й достатку життя населення. Оцінка впливу зовнішніх факторів на організаційно-ресурсне забезпечення машинобудівної галузі необхідна для виявлення відповідних важелів державного регулювання. Перспективним у цій сфері є визначення напрямів та побудова механізму підвищення ефективності державного регулювання організаційно-ресурсного забезпечення машинобудівної галузі України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барташевська, Ю. М. Розвиток машинобудування України: стан, проблеми, перспективи / Ю. М. Барташевська // Європ. вектор екон. розв. – 2010. – № 1 (8). – С. 19–25.
2. Вовк, І. П. Удосконалення організаційно-економічного механізму ресурсозбереження на машинобудівному підприємстві : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.04 / Вовк Ірина Петрівна ; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. – Т., 2013. – 24 с.
3. Державний комітет статистики в Україні [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>. – Назва з екрану.
4. Капіца, М. І. Логістичні методи управління ресурсами при ремонтах рухомого складу на промислових підприємствах / М. І. Капіца, М. В. Гненний, О. П. Пінчук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 257–262.
5. Кожина, О. М. Стратегічне планування ресурсного забезпечення господарської діяльності підприємства / О. М. Кожина // Коммунальное хоз-во городов : науч.-техн. сб. – К., 2005. – Вип. 65. – С. 343–350.
6. Кондратенко, Н. О. Теоретико-методологічні засади стратегії ресурсозбереження у регіональних економічних системах : дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.05 / Наталія Олегівна Кондратенко ; Рада по вивченню продуктивних сил України, НАН України. – К., 2011. – 469 с.
7. Кондрашевська, О. Г. Методичний підхід до аналізу ресурсної бази підприємств машинобудування / О. Г. Кондрашевська // Вісн. економіки трансп. і пром-сті. – Х., 2011. – № 34. – С. 295–299.
8. Лепьохіна, О. В. Управління підприємствами машинобудівної галузі при застосуванні прогресивних технологій / О. В. Лепьохіна // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 36. – С. 276–282.
9. Мартиненко, В. П. Стратегія життєздатності підприємств промисловості / В. П. Мартиненко. – К. : Центр навч. л-ри, 2006. – 328 с.
10. Мельник, О. Г. Системи діагностики діяльності машинобудівних підприємств: полікритеріальна концепція та інструментарій : монографія / О. Г. Мельник. – Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2010. – 344 с.
11. Моїсеєнко, Т. Є. Ефективність інноваційної діяльності машинобудівних підприємств України / Т. Є. Моїсеєнко // Вісн. Криворізького екон. ін-ту. – 2009. – № 4 (20). – С. 106–110.
12. Полянська, А. С. Ресурсне забезпечення розвитку організацій в сучасних умовах господарювання [Електронний ресурс] / А. С. Полянська // Режим доступу: <http://www.pdaa.com.ua/np/pdf/81.pdf>. – Назва з екрану.
13. Руденко, Л. В. Фінансовий ресурс як компонент динамічної системи ресурсного забезпечення транснаціональних корпорацій / Л. В. Руденко // Економіка і управління. – 2006. – № 1. – С. 15–23.
14. Шифріна, Н. І. Стан та перспективи розвитку машинобудівного комплексу України / Н. І. Шифріна // Вісн. економіки трансп. і пром-сті. – Х., 2010. – № 29. – С. 394–399.
15. Яковлева, А. В. Економетрика. Конспект лекцій / А. В. Яковлева. – М. : Ексмо, 2008. – 224 с.
16. Barney, J. Firm resources and sustained competitive advantage / J. Barney // J. of Management. – 2002. – № 2. – P. 58–65.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

17. Peteraf, M. A. The cornerstones of competitive advantage: A resource-based view / M. A. Peteraf // Strategic Management J. – 2001. – № 7. – P. 145–158.
18. Wernerfelt, B. A resource-based view of the firm / B. Wernerfelt // Strategic Management J. – 2002. – № 6. – P. 178–203.

Ю. В. ГУСАК^{1*}

^{1*}Каф. «Менеджмент и маркетинг в городском хозяйстве», Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, ул. Революции, 12, Харьков, Украина, 61002, тел. +38 (057) 707 31 13, эл. почта iul.gusack@yandex.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ОРГАНИЗАЦИОННО-РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

Цель. Машиностроение характеризуется глубокой специализацией и высокой кооперацией, что предполагает высокую степень взаимодействия с другими отраслями промышленности и экономики страны в целом, крайне высокую чувствительность к воздействию внешних факторов. Эффективное государственное регулирование организационно-ресурсного обеспечения машиностроения способствует слаженности действий всех подсистем рыночной экономики, созданию конкурентной среды, полноценному ходу инвестиционных процессов и успешному функционированию отрасли. Поэтому возникает необходимость в детальной оценке и анализе влияния внешних факторов на показатели формирования и реализации организационно-ресурсного обеспечения машиностроительной отрасли. **Методика.** Для установления тесноты связи между совокупностью внешних факторов, влияющих на формирование и реализацию организационно-ресурсного обеспечения машиностроительной отрасли, и соответствующими результирующими показателями был использован корреляционный анализ, для расчета величины изменения этих показателей применялись коэффициенты эластичности. **Результаты.** Выделены внешние факторы влияния на организационно-ресурсное обеспечение машиностроительной отрасли, выполнена их группировка по источникам происхождения на производственные, экономические, политические, информационные и социальные. Проведена классификация внешних факторов в зависимости от направленности их влияния на показатели формирования и реализации организационно-ресурсного обеспечения. Определена теснота связей и величины изменения показателей формирования и реализации организационно-ресурсного обеспечения машиностроительной отрасли (индекс продукции машиностроения и индекс объема реализованной продукции машиностроения) под влиянием совокупности внешних факторов. **Научная новизна.** Усовершенствована оценка влияния внешних факторов на организационно-ресурсное обеспечение машиностроительной отрасли, которая позволяет выявить наиболее влияющие внешние факторы и величину изменения показателей формирования и реализации организационно-ресурсного обеспечения. **Практическая значимость.** Оценка влияния внешних факторов на организационно-ресурсное обеспечение машиностроительной отрасли позволяет обнаружить, разработать и скорректировать необходимые и эффективные рычаги государственного регулирования.

Ключевые слова: организационно-ресурсное обеспечение; машиностроительная отрасль; внешний фактор влияния; предприятие; коэффициент корреляции; коэффициент эластичности

Yu. V. GUSAK^{1*}

^{1*}Dep. «Management and Marketing in the Urban Economy», Kharkiv National University of Urban Economy named after O. M. Beketov, Revolution St., 12, Kharkiv, Ukraine, 61002, tel. +38 (057) 707 31 13, e-mail iul.gusack@yandex.ru

ESTIMATION OF EXTERNAL FACTORS INFLUENCE ON THE ORGANIZATIONAL AND RESOURCE SUPPORT OF ENGINEERING

Purpose. The engineering industry is characterized by deep specialization and high co-operation, which suggests a high degree of interaction with other industries and the economy, highly sensitive to external factors. Effective regulation of the engineering industry's organizational-resource support will ensure coherence of all the subsystems of the market economy, the competitive environment, a full course of the investment process and the success of

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

the industry. Therefore there is a need for detailed estimation and analysis of the external factors' influence on the formation and implementation indexes of the engineering industry's organizational-resource support. **Methodology.** To establish the close connection between the set of external factors of formation and implementation indexes of the engineering industry organizational-resource support the correlation analysis was used, to calculate the amount of the formation and implementation indexes of the engineering industry organizational-resource support's change under the influence of the external factors with malleability coefficient were applied. **Findings.** The external influence factors on the engineering industry organizational-resource support by the source of origin: industrial, economical, political, informational, and social were separated and grouped. The classification of the external factors influence on the engineering industry organizational-resource support, depending on their influence's direction on the formation and implementation indexes of the engineering industry's organizational-resource support was made. The connection closeness and the amount of the formation and implementation indexes of the engineering industry organizational-resource support change (the machinery index of and the sales volume machinery index) under the influence of the external factors with malleability coefficient were determined. **Originality.** The estimation of the external factors influence on the formation and implementation indexes of the engineering industry's organizational-resource support was improved, which allows identifying the most influenced external factors and the amount of the formation's and implementation's indexes of the engineering industry's organizational-resource support's change. **Practical value.** The estimation of the external factors influence on the formation and implementation indexes of the engineering industry's organizational-resource support allows detecting, developing and adjusting the necessary and effective levers of government regulation.

Keywords: organizational-resource support; engineering industry; influence of external factors; company; correlation coefficient; malleability coefficient

REFERENCES

1. Bartashevskaya Yu.M. Rozvytok mashynobuduvannya Ukrainy: stan, problemy, perspektyvy [The development of mechanical engineering in Ukraine: condition, problems, prospects]. *Yevropeyskyi vektor ekonomichnoho rozvytku - European vector of economic development*, 2010, no. 1 (8), pp. 19-25.
2. Vovk I.P. *Udoskonalennia orhanizatsiino-ekonomichnoho mekhanizmu resursozberezhennia na mashynobudivnomu pidpriemstvi*. Avtoreferat. Diss. [Improvement of organizational-economic mechanism of resource saving at the machine-building enterprise. Author's abstract]. Ternopil, 2013. 24 p.
3. *Derzhavnyi komitet statystyky v Ukraini* [The State Statistics Committee of Ukraine]. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (Accessed 03 November 2013).
4. Kapitsa M.I., Hnennyi M.V., Pinchuk O.P. Lohistychni metody upravlinnia resursamy pry remontakh rukhomoho skladu na promyslovykh pidpriemstvakh [The logistics resource management in the repair of the rolling stock on industrial organizations]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 257-262.
5. Kozhyna O.M. Stratehichne planuvannya resursnoho zabezpechennia hospodarskoi diialnosti pidpriemstva [The strategic planning of resource support business enterprise]. *Kommunalnyoye khozyaystvo gorodov – Municipalities Cities*, 2005, issue. 65, pp. 343-350.
6. Kondratenko N.O. *Teoretyko-metodolohichni zasady stratehii resursozberezhennia u rehionalnykh ekonomichnykh systemakh*. Dokt. Diss. [The theoretical foundations of resource strategies in regional economic systems. Doct. Diss.]. Kyiv, 2011. 469 p.
7. Kondrashevskaya O.H. Metodychnyi pidkhid do analizu resursnoi bazy pidpriemstv [The methodical approach to the analysis of the resource base of mechanical engineering]. *Visnyk ekonomiky, transportu i promyslovosti* [Bulletin of Transport Economics and Industry], 2011, no. 34, pp. 295-299.
8. Lepokhina O.V. Upravlinnia pidpriemstvamy mashynobudivnoi haluzi pry zastosuvanni prohresyvnnykh tekhnolohii [Management of enterprises of machine-building industry in the application of advanced technologies]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 36, pp. 276-282.
9. Martynenko V.P. *Stratehiia zhyttiezdatnosti pidpriemstv promyslovosti* [Strategy of enterprise viability]. Kyiv, Tsentr navchalnoi literatury Publ., 2006. 328 p.
10. Melnyk O.H. *Systemy diahnostyky diialnosti mashynobudivnykh pidpriemstv: polikryterialna kontseptsii ta instrumentarii* [The diagnostic systems of machine-building enterprises: policriterion concept and tools]. Lviv, Vyd-vo Lvivskoi politekhniki, 2010. 344 p.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

11. Moiseienko T.Ye. Efektyvnist innovatsiinoi diialnosti mashynobudivnykh pidpriemstv Ukrainy [The effectiveness of innovation engineering enterprises of Ukraine]. *Visnyk Kryvorizkoho ekonomichnoho instytutu* [Bulletin of Kryvyi Rih Economic Institute], 2009, no. 4 (20), pp. 106–110.
12. Polianska A.S. *Resursne zabezpechennia rozvytku orhanizatsii v suchasnykh umovakh hospodariuvannia* [Resource support of the organizations development in the current economic conditions]. Available at: <http://www.pdaa.com.ua/np/pdf/81.pdf>. (Accessed 03 November 2013).
13. Rudenko L.V. Finansovyi resurs yak komponent dynamichnoi systemy resursnoho zabezpechennia transnatsionalnykh korporatsii [Financial resource as a component of the dynamic system of resource support for transnational corporations]. *Ekonomika i upravlinnia – Economics and Management*, 2006, no. 1, pp. 15–23.
14. Shyfrina N.I. Stan ta perspektyvy rozvytku mashynobudivnoho kompleksu Ukrainy [Condition and prospects of the development of engineering industry of Ukraine]. *Visnyk ekonomiky, transportu i promyslovosti* [Bulletin of Transport Economics and Industry], 2010, no. 29, pp. 394–399.
15. Yakovleva A.V. *Ekonometrika* [Econometrics]. Moscow, Eksmo Publ., 2008. 224 p.
16. Barney J. Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 2002, no. 2, pp. 58–65.
17. Peteraf M.A. The cornerstones of competitive advantage: A resource-based view. *Strategic Management Journal*, 2001, no. 7, pp. 145–158.
18. Wernerfelt B. A resource-based view of the firm. *Strategic Management Journal*, 2002, no.6, pp. 178–203.

Стаття рекомендована до публікації д.е.н., проф. Н. О. Кондратенко (Україна); д.е.н., проф. Л. С. Головковою (Україна)

Надійшла до редколегії 06.09.2013.

Прийнята до друку 17.09.2013.

УДК 338.48(477)

Л. В. МАРЦЕНЮК^{1*}

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

ОСНОВНІ ЗАСАДИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОГО ТУРИЗМУ В УКРАЇНІ

Мета. Недостатньо розвинена інфраструктура, а також система транспортного обслуговування туристів та населення стають на заваді швидкому піднесенню та поширенню туристичної слави України. Тому розвиток туристичної інфраструктури та транспортних шляхів сполучення є одним з першочергових державних завдань. **Методика.** Дослідження ґрунтується на використанні послідовного методичного прийому. **Результати.** Автором проаналізовано стан індустрії туризму в Україні, визначено основні засади та пріоритетні напрямки його розвитку. У результаті зроблено висновок про те, що туристична галузь має надзвичайно важливе значення для економіки держави і розвиток цієї сфери суспільного життя повинен стати одним з пріоритетних завдань на найближче майбутнє. **Наукова новизна.** На погляд автора, доцільнішим є розвиток в'їзного туризму, адже це дає додаткові робочі місця та валютні надходження. Автор наполягає, що доведення рівня якості вітчизняних туристичних послуг до європейських стандартів значно прискорить розвиток туризму в Україні та привабить більше відпочивальників з України та близького зарубіжжя. **Практична значимість.** Раціонально застосовані заходи в рамках запропонованих автором напрямків розвитку туризму дозволять підвищити конкурентоспроможність української туристичної галузі на європейському ринку туристичних послуг.

Ключові слова: транспортний туризм; туристична галузь; транспортні подорожі; туристичні послуги; рекреаційний комплекс

Вступ

З кожним роком розвиток туризму в Україні набуває все більших обертів. У 2012 р. нашу державу відвідали більше 23 млн іноземців, з них громадяни Російської Федерації – більше 9 млн чол., Республіки Молдова – 4 млн, Білорусі – 3 млн, Польщі – 1 млн, Румунії – майже 800 тис. чол., Угорщини – 740 тис. чол., Словаччини – 476 тис. чол., Німеччини – 274 тис. чол., Узбекистану – 185 тис. чол., США – 134 тис. чол., Туреччини – 117 тис. чол., Азербайджану – 101 тис. чол.

Мета

Україна є одним зі світових лідерів у сфері міжнародного туризму та посідає сьоме місце за кількістю відвідувань щороку. Таким чином, туристична галузь має надзвичайно важливе значення для економіки нашої держави, а її розвиток повинен стати одним з пріоритетних завдань на найближче майбутнє.

Методика

Засновником туристичної справи вважають англійця Томаса Кука. У 1814 р. в Англії він організував першу туристичну поїздку залізни-

цею з м. Лестер до м. Лафборо, у якій брали участь 570 чоловік. Вартість такого «туру» становила лише один шилінг, мета його не була комерційною. З 1847 р. підприємство, створене Т. Куком, почало організовувати закордонні поїздки, спочатку до Франції, а пізніше – до інших європейських країн. У 1851 р. було засновано комерційне бюро подорожей «Томас Кук та син», яке вже в 1865 р. відправило першу організовану групу туристів на відпочинок до Швейцарії. Отже, перші кроки в розвитку туризму були пов'язані із залізничним та морським транспортом. Так, у 1838 р. колісно-гвинтовий пароплав «Грейт вестерн» здійснив перший рейс – перевіз із Америки до Європи 68 пасажирів, започаткувавши регулярне пароплавне сполучення між Нью-Йорком і Лондоном. У 1866 р. Т. Кук організував поїздки двох груп англійських туристів до США, а в 1867 р. американський пароплав на борту якого перебували 60 туристів, відправили в п'ятимісячну морську подорож. Серед пасажирів був Марк Твен, який описав свої дорожні пригоди в книзі «Простакі за кордоном». Так почав розвиватися міжконтинентальний туризм. У 1882 р. Кук організував першу у світі навколосвітню подорож. Новий бізнес зацікавив багатьох підпри-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ємців. Згодом на Британських островах виникають туристичні організації «Треїмза та Ланна», «Політична туристична асоціація», «Кооперативна асоціація відпочинку», «Велосипедний туристичний клуб». У другій половині XIX ст. туристичні фірми та агенції з'являються в США, а також у Франції, Італії, Швейцарії, Росії та інших країнах європейського континенту. Звичним явищем стає резервування місць на транспорті та номерів у готелях, класифікація готелів, дорожні чеки, розклади руху та путівники з вичерпною інформацією.

На сьогодні транспортні системи різних держав світу мають свої особливості, зумовлені такими чинниками, як географічне положення країни, природно-ресурсний потенціал, рельєф, клімат, ландшафт тощо. Тому різні країни мають різну структуру транспортного комплексу. Наприклад, рівнинні країни розвивають насамперед залізничний та автомобільний види транспорту; якщо є багато річок та озер – активно функціонує річковий транспорт; держави, які мають вихід до морів та океанів, обов'язково використовують морський транспорт; гірські країни та країни з великою територією активно розвивають повітряний транспорт. Ці характеристики впливають на туризм, особливо міжнародний, котрий як раніше, так і нині без транспорту неможливий. У свою чергу, розвиток туризму потребує розвитку транспорту.

Перші форми туризму почали з'являтися на території України дуже давно. Людям завжди була притаманна природна цікавість, їм кортіло дізнатися, як живуть інші народи, чи просто відвідати інші землі в пошуках чогось незвичайного. Розвитку туризму сприяло вдале геополітичне положення України, що розташовано на перехресті багатьох важливих торговельних шляхів. Завдяки цьому нашу країну щороку відвідувала значна кількість іноземних купців, які, приїжджаючи додому, розносили славу про Україну, про її багаті природні ресурси, гостинний народ та цікаві традиції, тим самим приваблюючи все більше охочих побувати в Україні [10].

Сучасних рис туризм в Україні став набувати з початку XIX ст. У цей час відома організація «Руська трійця» займалася організацією та популяризацією серед населення, особливо серед інтелігенції, народознавчих мандрівок Ба-

тьківщиною. Зокрема, Маркіян Шашкевич, Іван Вагилевич та Яків Головацький заохочували до пізнання історії України, ознайомлення з її культурно-історичними та природними пам'ятками. Згодом активними громадськими діячами було досліджено лікувальний та рекреаційний (відпочинковий) потенціал Криму, Прикарпаття та Закарпаття, визначено особливості цих територій та перспективи їх розвитку [8].

Перші організації, що пропонували здійснення туристичних подорожей (туристичні бюро), почали виникати наприкінці XIX ст. Так, 1895 року розпочало діяльність Ялтинське екскурсійне бюро. Згодом аналогічні організації створюють і на заході країни – основними центрами розвитку туризму стають Львів, Перемишль, Галич тощо. На межі XIX-XX ст. починається освоєння рекреаційних місцевостей у районі Яремчого, Ворохти, Косова, Верховини та ін.

У XX ст. туризм в Україні розвивається значно інтенсивніше. У 20-х роках на Донбасі, як найбільш промислово розвиненому регіоні, починають працювати перші будинки відпочинку. Згодом такі заклади створюють і в інших місцевостях. Почала розвиватися специфічна галузь – курортологія. Створено Одеський науково-дослідний інститут курортології (1928 року) для лікування та профілактики багатьох захворювань за допомогою грязелікування та бальнеотерапії.

За часів Радянського Союзу розвиток туризму в Україні базувався на відомчій та профспілковій основі. Своєрідним видом пільг стала видача путівок на бази та в будинки відпочинку. Діяла спеціальна структура – «Укрпрофтуризм», яка керувала профспілковим туризмом. Частина прибутку від путівок надходила до місцевих бюджетів, далі ці кошти використовувалися для прокладання та модернізації транспортних шляхів, відновлення культурних та історичних пам'яток тощо. Іноземним та міжнародним молодіжним туризмом опікувалися «Інтурист» та «Супутник» відповідно. Загалом, за часів СРСР туристична галузь України функціонувала в складі єдиного рекреаційно-туристичного комплексу Радянського Союзу; усі курорти та об'єкти рекреаційної діяльності належали державі, відповідно керівництво ними здійснювалося централізовано [3].

Зі здобуттям Україною незалежності починається новий період розвитку туризму. У пер-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ші роки після проголошення самостійності нашої держави туристична галузь значно занепадала. Складна, нестабільна політична ситуація відлякувала іноземних туристів.

За кілька років стан індустрії туризму почав змінюватися. 1995 року Верховна Рада ухвалила Закон «Про туризм» [4]. У цьому документі подано визначення поняття туризм, під яким розуміють виїзд із постійного місця проживання на термін від 24 годин до 1 року, причому на території перебування в цей час виключається будь-яка оплачувана діяльність. Цей закон також визначав основні засади розвитку туризму в Україні, його пріоритетні напрямки та джерела фінансування.

Нині Україна має значний потенціал для розвитку туристичної індустрії. Так, на території нашої держави функціонують більше 3 000 закладів оздоровлення та відпочинку, 6 000 готелів. Кількість готелів у 2012 році порівняно з 1992 роком збільшилася у 4,5 разу, кількість номерів – на 28 %, а житлова площа усіх номерів зросла майже на 70 %. Безумовно, найбільший «прорив» у будівництві готелів відбувся напередодні проведення в Україні чемпіонату Європи з футболу 2012 року.

У нашій державі створена значна кількість природоохоронних територій. Найбільшою популярністю користуються Карпатський та Шацький національні природні парки, біосферний заповідник «Асканія-Нова», численні дендропарки, заказники, пам'ятки садово-паркового мистецтва. Не менш відвідуваними є місця розкопок на території існування давніх міст – Херсонесу, Ольвії, Тіри та ін [11].

Останнім часом в Україні швидкими темпами розвивається сільський зелений туризм, основне завдання якого полягає у відпочинку туристів від міського шуму, ознайомленні з історико-культурними пам'ятками й місцевими звичаями та традиціями [5].

Результати

На сьогодні є класифікація транспортних подорожей, які поділяють за низкою ознак: типом маршруту; видом транспорту, що використовують; сезонністю дії; формою маршруту; тривалістю подорожі тощо. Нині залежно від терміну та відстані подорожі частка транспортної складової в ціні туру становить від 20 до 60 % [15].

У процесі планування подорожі турист враховує такі чинники, як: швидкість прибуття до потрібного місця, комфорт подорожі, вартість, можливість перевезення багажу та його вага, можливість зупинки під час руху, умови харчування, рівень шуму та вібрації, умови для сну та відпочинку, екологічні фактори і, звичайно, безпека. За пріоритетами ці вимоги поділяють таким чином: безпека подорожі; вартість і наявність різних пільг; комфортабельність; швидкість прибуття та ін. [6].

Так, у 2012 році відправлено (перевезено) пасажирів: залізничним транспортом – 429 115 тис. чол., що на 23 % менше порівняно з даними двадцятирічної давності (1992 рік), морським – 5 921 тис. чол., що на 55 % менше, річковим – 722 тис. чол., що на 94 % (!) менше, автомобільним (враховуючи автобуси) – 345 173 тис. чол., що на 47 % менше. Позитивна тенденція лише у відправленні пасажирів авіаційним транспортом: у 2012 році ним скористалося 8 106 тис. чол., що на 42 % більше, ніж у 1992 року.

Якщо проаналізувати виїзд громадян України за кордон, то у 2012 році найбільше подорожей було до таких країн: Російську Федерацію відвідали майже 6 млн чол., Польщу – 5,7 млн, Республіку Молдову – 2 млн, Угорщину – майже 2 млн, Білорусь – 1,6 млн, Туреччину – 560 тис., Румунію – 549 тис., Словаччину – 500 тис., Німеччину – 300 тис., Чехію – майже 300 тис., Єгипет – 297 тис., ОАЕ – 150 тис., Італію – 150 тис., Ізраїль – 140 тис., Австрію – 100 тис. чол.

Основною проблемою розвитку індустрії туризму в Україні є неефективне та нераціональне використання природних ресурсів, відсутність чіткої стратегії та чіткого регулювання. Недостатньо розвинена інфраструктура, а також система транспортного обслуговування туристів та населення стають на заваді швидкому піднесенню та поширенню туристичної слави країни. Тому розвиток туристичної інфраструктури та транспортних шляхів сполучення є одним із першочергових державних завдань.

Не менш важливим та болючим питанням залишається якість надання туристичних послуг. За цим показником Україна значно відстає від багатьох держав із подібним рекреаційно-туристичним потенціалом. Внаслідок

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

цього багато наших співвітчизників надають перевагу іноземним курортам, отримуючи фактично за ті самі гроші набагато вищий рівень обслуговування та комфорту та стаючи при цьому інвесторами в економіку іноземних держав [16]. Доведення рівня якості вітчизняних туристичних послуг до європейських стандартів значно прискорить розвиток туризму в Україні та привабить більше відпочивальників з України та близького зарубіжжя.

Серед інших проблем туристичної сфери можна назвати недостатню поінформованість населення про готелі, інші заклади відпочинку, тури по країні, туристичні послуги, а також відчутний податковий тягар для об'єктів туристичної діяльності [12].

Бурхливий розвиток транспортних засобів та шляхів сполучення в кінці XIX – на початку XX століття поряд з іншими чинниками (науково-технічна революція, наслідками якої стала зміна якісного рівня продуктивних сил; урбанізація; збільшення кількості вільного часу; загальне зростання культурного рівня населення) став потужним поштовхом для посилення міжнародної туристичної діяльності [1].

З розвитком туристичної сфери транспорт став невід'ємною її складовою. За участю в задоволенні туристичних потреб транспортні засоби належать до первинних, вторинних і третинних підприємств рекреаційного комплексу: первинні – транспортні підприємства, що беруть безпосередню участь в обслуговуванні туристів (залежно від використовуваних транспортних засобів виділяють автомобільний, автобусний, мотоциклетний, авіаційний, залізничний, велосипедний, водний на гребних судах, водний на моторних судах, кінний види туризму); вторинні – транспортні підприємства, що виконують внутрішні (міські) та зовнішні пасажироперевезення, але не спеціалізуються на перевезенні туристів; третинні – транспортні підприємства, що обслуговують промисловість та сільськогосподарські підприємства і опосередковано залучені в обслуговування туристів [13].

Взаємодія транспортного комплексу з туристичним взаємовигідна. З одного боку, 80–90 % доходу від пасажирських перевезень транспорт одержує від обслуговування туристів. З іншого – завдяки транспорту до туристичного користування залучаються периферійні ділянки рекреаційного простору. А в умовах високого

транзитного потенціалу, що має Україна, розвиток транспортної мережі міг би сприяти прискоренню інтеграції України в міжнародний економічний простір, а також збільшенню потоків іноземних туристів.

Україна займає вигідне транспортно-географічне положення. Через її територію здійснюється транспортний зв'язок країн СНД з країнами Центральної та Південної Європи, Близького Сходу та Африки. Крім того, налагоджені комунікації Західноєвропейських, Скандинавських та Балтійських країн з країнами Закавказзя, Центральної Азії, Далекого Сходу, Китаєм та Індією. У подальшому розвитку й укріпленні цих зв'язків зацікавлені всі учасники транспортно-комунікативних процесів. У зв'язку з цим у Європі та Азії ведеться створення системи транспортних коридорів, у якій українські магістралі відіграють важливу роль. Територією України проходять ділянки таких міжнародних транспортних коридорів: критський коридор № 3 (Берлін – Дрезден – Вроцлав – Львів – Київ); критський коридор № 5 (Трієст – Любляна – Будапешт (Братислава) – Львів – Рівне – Сарни – Мінськ); критський коридор № 7 (Дунайський (водний)); критський коридор № 9 (Гельсінкі – Санкт-Петербург – Мінськ (Москва) – Київ – Кишинів (Одеса) – Димитровград – Александрополіс); Балтійське море – Чорне море (Гданськ – Варшава – Ковель – Одеса); Європа – Азія (Франкфурт – Краків – Львів – Дніпропетровськ – Алма-Ата (продовження коридорів № 3 і 5)); ЧЕС (Анкара – Єреван – Тбілісі (Баку) – Ростов-на-Дону – Донецьк – Одеса (Кишинів) – Бухарест (Тирана) – Димитровград (Афіни) – Стамбул); Євроазіатський (Одеса – Тбілісі (Єреван) – Баку – Ашгабат); Північ – Південь (Харків – Полтава – Кіровоград – Одеса) [9].

Це мають бути швидкісні магістралі міжнародного класу. Їх створення повинно суттєво поліпшити транспортне обслуговування, сприяти соціально-економічному розвитку прилеглих територій і водночас відіграти значну роль у подальшому розвитку туризму. Планується вздовж транспортних коридорів, а особливо в місцях перетину магістралей та поблизу великих населених пунктів, створити обслуговуючі комплекси, які б забезпечували для подорожуючих ночівлю, відпочинок та технічне обслуговування засобів транспорту. Транспортні кори-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

дори безпосередньо охоплюють смуги територій завширшки 150–200 кілометрів. А це, за умови будівництва намічених магістралей, практично вся територія України. Отже, реалізація цієї програми дозволила б прив'язати до транспортних магістралей майже 90 % туристичних об'єктів. Сучасний же стан транспортної інфраструктури в Україні є незадовільним.

Наукова новизна та практична значимість

Понад 50 галузей народного господарства залучено до індустрії туризму. Вони тісно взаємопов'язані і в комплексі можуть принести чималий прибуток державі. Проста арифметика: кожний турист, який відвідує країну, протягом трьох днів витрачає в середньому 520 дол. США. Але ми маємо на порядок вищий потенціал. Необхідно лише забезпечити умови й перш за все цивілізовані «правила гри», які зробили б нашу державу більш привабливою для іноземних туристів [7].

Поступові зміни на краще в економічній ситуації та певні зрушення на шляху поліпшення матеріального становища населення створили об'єктивні передумови для розвитку сприятливого стосовно туристичної діяльності ринкового середовища. Позитивні результати дала й державна туристична політика, насамперед завдяки впровадженню системи ліцензування, що посилює контроль за якістю туристичного обслуговування. Але в міжнародному туризмі ситуація залишається нестабільною: поживавлення туристичної активності чергується із спадами, відтворюючи в цих коливаннях не тільки стан внутрішнього ринкового середовища, а й світової ринкової кон'юнктури, де імідж України залишається ще невизначеним [2].

Для розвитку туризму в Україні необхідно вирішити такі основні завдання: впровадити ефективні механізми фінансово-економічного регулювання розвитку цієї галузі; визначити шляхи, форми та методи стимулювання розвитку підприємництва в цій сфері; створити, з урахуванням соціально-економічних інтересів держави, ефективну модель інвестиційної політики в галузі туризму; удосконалити організаційні структури управління галуззю туризму;

забезпечити раціональне використання та відновлення природного та історико-культурного середовища; прийняти екологічні регламенти та затвердити допустимі норми освоєння туристичних ресурсів, розробити механізми їх дій та запровадити в практику управління.

Основу державної політики в галузі туризму повинні складати такі чинники: державне стимулювання внутрішнього та іноземного (в'їзного) туризму, у тому числі через удосконалення системи оподаткування; забезпечення внутрішньої конвертованості туристичних послуг шляхом підвищення їх якості та розширення асортименту, поліпшення умов обслуговування туристів; поетапна приватизація туристичних об'єктів з їх інфраструктурою; будівництво нових, реконструкція та модернізація діючих туристичних об'єктів; державне фінансування відновлення пам'яток архітектури, культури, історії України; залучення коштів підприємницьких структур, суб'єктів туристичної діяльності для розвитку інфраструктури туризму (шляхи, пункти пропуску, системи водопостачання та каналізації, зв'язок, служби сервісу тощо); організація приміських зон короточасного відпочинку, створення нових рекреаційних зон загальнодержавного та місцевого значення; сприяння організації виробництва екологічно чистої сільськогосподарської продукції для забезпечення потреб туристів і відпочивальників у високоякісних продуктах харчування; залучення приватного сектора, особливо у сільській місцевості, до рекреаційно-туристичного підприємництва та підсобної діяльності у сфері туризму (сільського зеленого туризму); створення сприятливих умов для розвитку активних видів туризму (оздоровчо-спортивного, екологічного, пригодницького тощо); державне сприяння просуванню на міжнародний ринок туристичного продукту України через міждержавні угоди та програми; створення сучасної інформаційно-маркетингової служби у сфері туристичного бізнесу; проведення науково-дослідних, проектних і пошукових робіт з актуальних проблем розвитку рекреаційно-туристичних господарств, використання природного та історико-культурного потенціалу країни, створення геоінформаційної системи «Туризм в Україні» тощо.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Водночас необхідно реалізувати низку науково-організаційних програм з метою забезпечення екологічно допустимих масштабів і темпів розвитку рекреаційно-туристичних зон, зокрема: виконати комплексні ландшафтно-екологічні та історико-культурні дослідження території України, встановити диференційовані норми туристичного навантаження на довкілля; переглянути природо- та пам'яткоохоронні нормативно-правові акти з метою посилення відповідальності за їх порушення; обґрунтувати на основі норм антропогенного навантаження гранично допустимі межі сумарної місткості об'єктів, розміщених у туристичних центрах [10].

Висновки

Першочерговими практичними кроками повинні бути: розробка нормативно-правової бази з питань туризму, здійснення за участю Державного комітету України по туризму експертиз проектів законодавчих та інших нормативно-правових актів у цій галузі; розроблення стандартів на послуги, що надаються туристам і екскурсантам; проведення сертифікації туристичних послуг; здійснення паспортизації туристичних підприємств і організацій; удосконалення порядку ліцензування суб'єктів туристичного підприємства; запровадження пільгових умов для стимулювання організацій відпочинку й оздоровлення дітей та молоді, насамперед дітей-сиріт, дітей-інвалідів, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи, та інших соціально незахищених груп населення; облаштування туристичної інфраструктури у мережі міжнародних транспортних коридорів, що пролягають територією України; налагодження потужної реклами вітчизняного туристичного продукту; випуск високоякісного інформаційно-довідкового матеріалу, створення спеціалізованих видань туристичного профілю (газет, журналів, законодавчих збірників, методичних рекомендацій, монографій, навчальних посібників, підручників тощо), постійних радіо- та телепрограм; забезпечення регулярного проведення в Україні міжнародних і національних туристичних виставок, салонів, бірж, ярмарків, фестивалів, конкурсів тощо; організація участі вітчизняних виробників туристичного продукту в аналогічних заходах за межами нашої держави з метою залучення

в Україну якомога більшої кількості іноземних туристів; створення сприятливих умов для збільшення туристичних потоків шляхом спрощення, згідно з міжнародною практикою, візових, митних і прикордонних формальностей; формування мережі туристичних представництв України за кордоном; створення тематичних програм, у яких всебічно, повно та правдиво висвітлюються вітчизняна історія, життя й діяльність видатних українських політичних і військових діячів, народних героїв, митців; проведення науково-практичних, методичних конференцій, семінарів та інших заходів для визначення науково обґрунтованих напрямків туризму; підготовку кваліфікованих кадрів у сфері туризму.

Якщо розглядати альтернативи, що існують сьогодні перед українським туризмом, то є лише два шляхи, (сценарії) подальшого перебігу подій. Саме зараз відбувається той вирішальний момент, від якого залежить майбутнє українського туризму, коли з'ясовується, стане туризм однією з головних статей доходу у бюджеті, як це відбувається в більшості цивілізованих країн світу, чи залишиться на тому ж рівні, на якому він існував до сьогодні. Усе це визначається тими орієнтирами, що будуть закладені в політику розвитку туризму. Таким чином, маємо альтернативу: робити акцент на іноземного споживача чи реанімувати внутрішній туристичний процес.

Обираючи другий шлях розвитку (орієнтація на розвиток внутрішнього туристичного процесу), постаємо перед вибором, у якому саме напрямку працювати: розвивати в'їзний (регіональний) чи виїзний туризм. Так, організація поїздок за межі України – справа доволі прибуткова, і на ній заробляють гроші безліч організацій, зокрема й туристичні агенції. Тим часом, у більшості держав закордонний туризм посідає останнє місце. Так, у Японії з 15 000 турфірм тільки 5 % організовують поїздки за її межі, решта працюють на внутрішній туризм [14].

На наш погляд, в Україні більш доцільним є розвиток саме в'їзного туризму, адже він дає додаткові робочі місця та валютні надходження.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абдуразакова, Я. М. Современный международный туризм: тенденции и перспективы / Я. М. Абдуразакова. – Вестн. Астрах. гос. техн. ун-та. Сер. : Экономика. – 2010. – № 2. – С. 159–166.
2. Биржаков, М. Б. Индустрия туризма: перевозки / М. Б. Биржаков, В. И. Никифоров. – СПб. : Герда, 2007. – 528 с.
3. Вінниченко, І. І. Середовище турбізнесу: навч. посіб. / І. І. Вінниченко. – К. : Академперіодика, 2006. – 220 с.
4. Про туризм : Закон України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/324/95-вр>. – Назва з екрану.
5. Квартальнов, В. А. Теория и практика туризма : учебник / В. А. Квартальнов. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 673 с.
6. Людоговская, М. В. Система управления транспортными потоками в туристической индустрии [Электронный ресурс] / М. В. Людоговская. – Журн. ун-та водных коммуникаций. – 2010. – № 4. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/sistema-upravleniya-transportnymi-potokami-v-turisticheskoy-industrii>. – Заглав. с экрана.
7. Максарева, Е. М. Основные направления реализации принципов устойчивого развития в туризме [Электронный ресурс] / Е. М. Максарева. – Изв. Рос. гос. пед. ун-та им. А. И. Герцена. – 2008. – № 85. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-realizatsii-printsipov-ustoychivogo-razvitiya-v-turizme>. – Заглав. с экрана.
8. Новгородцева, А. Н. Становление теории туризма в зарубежной и отечественной практике [Электронный ресурс] / А. Н. Новгородцева. – Изв. Рос. гос. пед. ун-та им. А. И. Герцена. – 2009. – № 115. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/stanovlenie-teorii-turizma-v-zarubezhnoy-i-otechestvennoy-praktike>. – Заглав. с экрана.
9. Петренко, Е. А. Проблема монополизма на железнодорожном транспорте / Е. А. Петренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 40. – С. 289–295.
10. Розвиток туризму в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.marshruty.in.ua/index.php/rozvytok-turyzmu-v-ukraini.php>. – Назва з екрану.
11. Смирнов, І. Г. Логістика туризму : навч. посіб. / І. Г. Смирнов. – К. : Знання, 2009. – 444 с.
12. Смирнов, І. Г. Логістична модель сталого розвитку туристичної галузі в Україні / І. Г. Смирнов // Вісн. Донец. ін-ту туристичного бізнесу. – 2007. – № 11. – С. 26–31.
13. Ходоскина, О. А. Логистическая система / О. А. Ходоскина. – Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 40. – С. 311–315.
14. Barcik, R. A. The Significance of Customer Service in Logistics [Electronic resource] / R. A. Barcik, M. B. Jakubiec. – Logistics and Transport. – 2013. – Vol. 17, № 1. – P. 5–10. – Access mode: <http://logistics-and-transport.eu/index.php/main/article/view/236/>. – Title from the screen.
15. Handfield, R. Introduction to supply chain management. / R. Handfield, E. Nichols. – New York : Prentic hall, 2005. – 183 p.
16. Khadaroo, J. Transport infrastructure and tourism development. Original Research Article [Electronic resource] / Jameel Khadaroo, Boopen Seetanah // Annals of Tourism Research. – 2007. – Vol. 34, iss. 4. – P. 1021–1032. – Access mode: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160738307000837>. – Title from the screen.
17. Mammadov, R. The Importance of Transportation in Tourism Sector [Electronic resource] / Rufat Mammadov. – Challenges and Opportunities of Sustainable Economic Development in Eurasian Countries (24.05-26.05.2012) : 7-th Silk Road Intern. Conf. – Tbilisi–Batumi : Georgia, 2012. – P. 381–386. – Access mode: http://www.academia.edu/2628130/The_Importance_of_Transportation_in_Tourism_Sector. – Title from the screen.

Л. В. МАРЦЕНЮК^{1*}

^{1*}Каф. «Економіка и менеджмент», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (093) 934 18 03, эл. почта gwinform1@rambler.ru

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО ТУРИЗМА В УКРАИНЕ

Цель. Недостаточно развитая инфраструктура, а также система транспортного обслуживания туристов и населения препятствуют быстрому подъему и распространению туристической славы Украины. Поэтому развитие туристической инфраструктуры и транспортных путей сообщения является одной из первоочередных государственных задач. **Методика.** Исследование основывается на использовании последовательного методического приема. **Результаты.** Автором проанализировано положение индустрии туризма в Украине, определены основные принципы и приоритетные направления его развития. В результате сделан вывод о том, что туристическая отрасль имеет чрезвычайно важное значение для экономики государства и развитие этой сферы общественной жизни должно стать одной из приоритетных задач на ближайшее будущее. **Научная новизна.** С точки зрения автора, более целесообразным является развитие въездного туризма, ведь это дает дополнительные рабочие места и валютные поступления. Автор настаивает, что приведение уровня качества отечественных туристических услуг к европейским стандартам значительно ускорит развитие туризма в Украине и привлечет больше отдыхающих из Украины и ближнего зарубежья. **Практическая значимость.** Рационально принятые меры по предложенным автором направлениям развития туризма позволят повысить конкурентоспособность украинской туристической отрасли на европейском рынке туристических услуг.

Ключевые слова: транспортный туризм; туристическая отрасль; транспортные путешествия; туристические услуги; рекреационный комплекс

L. V. MARTSENYUK^{1*}

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

BASIC PRINCIPLES OF TRANSPORT TOURISM DEVELOPMENT IN UKRAINE

Purpose. Undeveloped infrastructure and the system of public and tourist transport services prevent boom and spread of tourism glory of the country. Therefore, the development of tourist infrastructure and transport communication routes is a priority task. **Methodology.** Article methodology is based on the use of consequent methodological technique. **Findings.** Author analyzed the situation of tourism industry in Ukraine, set the basic principles for the tourism development and its priorities. The article contains the author's point of view on the fact that the tourism industry is of paramount importance to the state economics, and the development of this sector of public life should be a priority task for the near future. **Originality.** According to the author, the development of the inbound tourism is more reasonable, because it provides additional workplaces and exchange earnings. The author insists that the raise of quality level of domestic tourist services to the European standards would accelerate the development of Ukrainian tourism and would attract more holidaymakers from Ukraine and neighbouring countries. **Practical value.** The rational measures, which were taken regarding the proposed directions for the tourism development, can improve competitiveness of the Ukrainian tourist industry on the European tourist market.

Keywords: transport tourism; tourist industry; transport travels; tourist services; recreational complex

REFERENCES

1. Abdurazakova Ya.M. Sovremennyy mezhdunarodnyy turizm: tendentsii i perspektivy [Modern international tourism: tendencies and prospects]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika – Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Economics*, 2010, no. 2, pp. 159-166.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

2. Birzhakov M.B., Nikiforov V.I. *Industriya turizma: perevozki* [Tourist industry: transportation]. Saint Petersburg, Gerda Publ., 2007. 528 p.
3. Vinnychenko I.I. *Seredovyshe turbiznesu* [Tourism business environment]. Kyiv, Akadempriodyka Publ., 2006. 220 p.
4. *Pro turyzm: Zakon Ukrainy* (On tourism: law of Ukraine). Available at: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/324/95-vr> (Accessed 3 September 2013).
5. Kvartalnov V.A. *Teoriya i praktika turizma* [Theory and practice of tourism]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2003. 673 p.
6. Lyudogovskaya M.V. Sistema upravleniya transportnymi potokami v turisticheskoy industrii [Control system of traffic flows in the tourism industry]. *Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsiy – Journal of University of Water Communications*, 2010, no. 4. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/sistema-upravleniya-transportnymi-potokami-v-turisticheskoy-industrii> (Accessed 3 September 2013).
7. Maksarova Ye.M. Osnovnyye napravleniya realizatsii printsipov ustoychivogo razvitiya v turizme [The basic realisation directions of sustainable development principles of tourism]. *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni A.I.Gertsena – Bulletin of Russian State Technical University named after A.I. Gertsen*, 2008, no. 85. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/osnovnyye-napravleniya-realizatsii-printsipov-ustoychivogo-razvitiya-v-turizme> (Accessed 3 September 2013).
8. Novgorodtseva A.N. Stanovleniye teorii turizma v zarubezhnoy i otechestvennoy praktike [Formation of the tourism theory in the foreign and domestic practice]. *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni A.I.Gertsena – Bulletin of Russian State Technical University named after A.I. Gertsen*, 2009, no. 115. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/stanovlenie-teorii-turizma-v-zarubezhnoy-i-otechestvennoy-praktike> (Accessed 3 September 2013).
9. Petrenok Ye.A. Problema monopolizma na zheleznodorozhnom transporte [The problem of monopoly on the railway transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 40, pp. 289-295.
10. *Rozvytok turyzmu v Ukraini* (Tourism development in Ukraine). Available at: <http://www.marshruty.in.ua/index.php/rozvytok-turyzmu-v-ukraini.php> (Accessed 3 September 2013).
11. Smyrnov I.H. *Lohistyka turyzmu* [Tourism logistics]. Kyiv, Znannia Publ., 2009. 444 p.
12. Smyrnov I.H. Lohistychna model staloho rozvytku turystychnoi haluzi v Ukraini [Logistic model of sustainable tourism development in Ukraine]. *Visnyk Donetskoho instytutu turystychnoho biznesu* [Bulletin of Donetsk Institution of tourism Business], 2007, no. 11, pp. 26-31.
13. Khodoskina O.A. Logisticheskaya sistema [Logistic system]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 40, pp. 311-315.
14. Barcik R.A., Jakubiec M.B. The Significance of Customer Service in Logistics. *Logistics and Transport*, 2013, vol. 17, no. 1, pp. 5-10. Available at: <http://logistics-and-transport.eu/index.php/main/article/view/236/> (Accessed 3 September 2013).
15. Handfield R., Nichols E. Introduction to supply chain management. New York, Prentice hall Publ., 2005. 183 p.
16. Khadaroo J., Seetanah B. Transport infrastructure and tourism development. Original Research Article. *Annals of Tourism Research*, 2007, vol. 34, issue 4, pp. 1021-1032. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160738307000837> (Accessed 3 September 2013).
17. Mammadov R. The Importance of Transportation in Tourism Sector. 7-th Silk Road Int. Conf. "Challenges and Opportunities of Sustainable Economic Development in Eurasian Countries". Tbilisi-Batumi, 2012, pp. 381-386. Available at: http://www.academia.edu/2628130/The_Importance_of_Transportation_in_Tourism_Sector (Accessed 3 September 2013).

Стаття рекомендована до публікації д.е.н., проф. Ю. С. Барашом (Україна); д.е.н., проф. Н. І. Верхоглядом (Україна)

Надійшла до редколегії 15.05.2013

Прийнята до друку 20.08.2013

UDC 656.222

G. YA. MOZOLEVICH^{1*}

^{1*}Dep. «Stations and Junctions», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician
V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 12, e-mail MrMozG81@mail.ru

OPERATIONAL DISTRIBUTION OF THE TRAIN TRAFFIC VOLUME ON THE SECTIONS OF RAILWAY OPERATING DOMAIN

Purpose. The task of the operational distribution of train traffic volume on the sections of operating domain is the optimization one. It is solved in the operational conditions by the dispatch station. The article sets the problem of formalizing and finding the new ways to solve this urgent problem. **Methodology.** A new approach to solving the problem of operational distribution of train traffic volume on the sections of the rail network with a choice of routes for all train traffics was proposed. **Findings.** A study of possible routes for the train traffic handle on the operating domain used for mass freight transportations between Krivyi Rih and Donbas was carried out. The use of the proposed method allowed us to obtain a rational distribution of trains on the rail network sections. **Originality.** The method of train traffic volume distribution in the network under operational conditions was improved. The method, as opposed to the current one allows one to select the route of separate units handle (according to the criteria of the weighted average cost for 1 ton of cargo). **Practical value.** The use of the proposed technology of the operational distribution of train traffic volume will increase the efficiency of the railways in general and ensure the competitiveness of rail transportations. The methodology implementation involves the use of railway dispatch station for the automated workplaces with appropriate informational support.

Keywords: train traffic volume distribution; train traffic volume; profit of railways; route selection; optimization task; operating domain

Introduction

Formation of profitable mechanism in the field of freight transportation in the conditions of transport market functioning involves minimizing of their costs. This requires the development of both new technologies and new approaches to the organization of the train traffic volume, operational management improvement [2, 7]. Selection problem of the rational traffic volume distribution over the network sections is the optimization one. A considerable number of scientific papers is devoted to its solution. [1, 5, 6, 9, 10]. The scientists solved this problem in the conditions of motion in the network of indivisible elements (liquid, gas, etc.) and separate units of the traffic volume (trains, cars). Other papers propose the solution of this problem in the conditions of owner interest of separate network sections.

General distribution of train traffic volume over railway domain can be implemented according to the criterion of total profits of railways and it can be directed to the railway profitability increase. But in the conditions of constant change of train situations in the domain sections the obtained distribution may be ineffective. That is why train dispatchers have to correct it in conditions of

operational change of train situation and to determine the rational routes for train handling according to additional selection criteria.

Purpose

The purpose of the article is the search for new approach concerning solution of the urgent problem of operational distribution of train traffic volume over the sections of railway network with a choice of routes for all traffic units.

Methodology

The weighted average cost of 1 ton of cargo in the freight train set is proposed to use as the selection criterion. This criterion can ensure handle of more valuable cargo weight on the fastest routes. This allows the increase of cargo turnover at the sections and speed up the movement of circulating assets of cargo owners.

Each cargo owner tends to accelerate the turnover of their funds by the reduction of procurement time, manufacturing of cargo transportation and sales, so the delivery speed of cargo is very important in the period of its life cycle.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

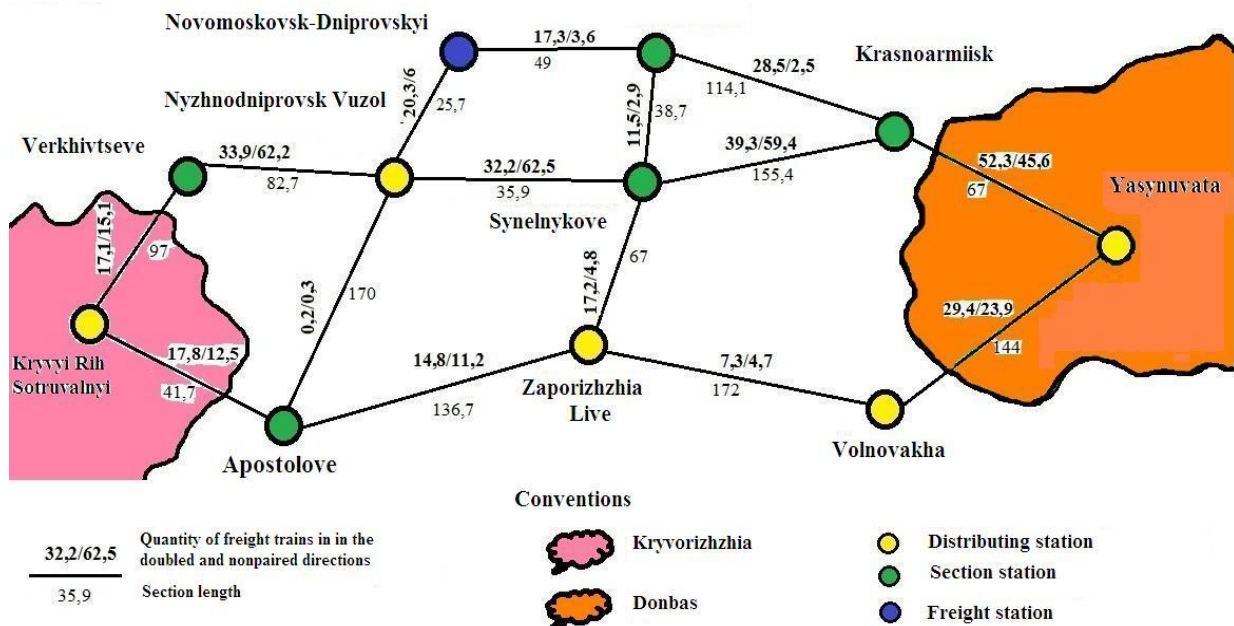


Fig. 1. General structure of operating domain and amount of freight train traffic according to directions

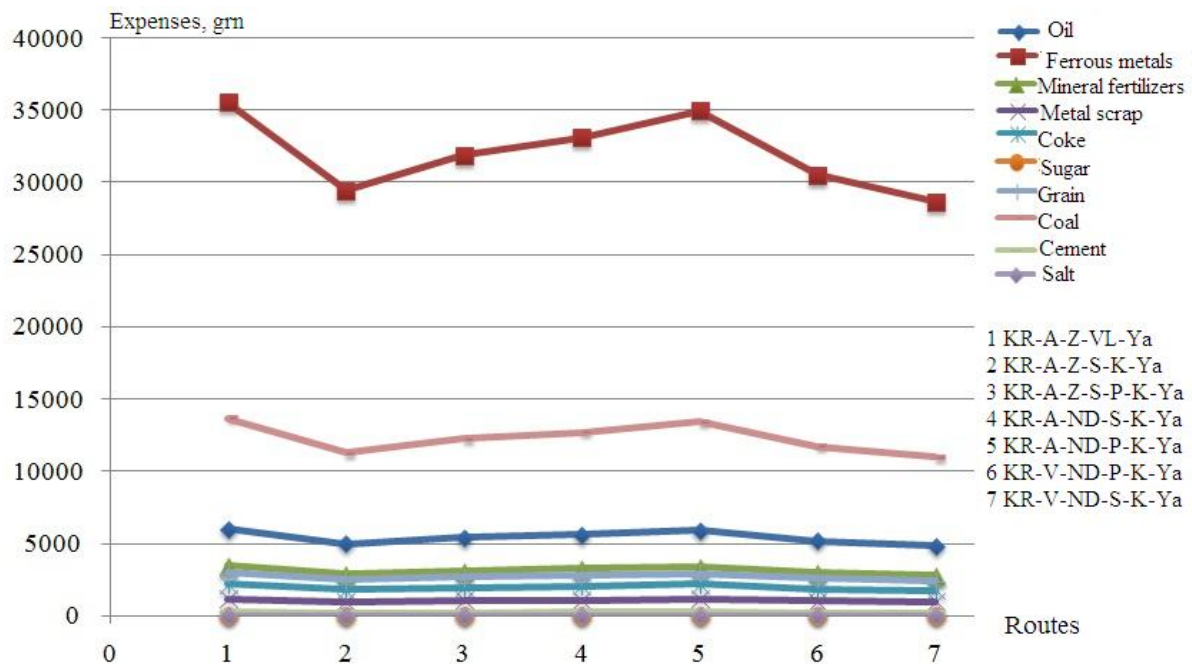


Fig. 2. Cost dependency of the cargo owners on train routes

Customer costs, which are used in cargo motion can be determined by the formula:

$$C_B = Aqc_T d_{CT} t_{\text{доct}}, \quad (1)$$

where A – is a daily train traffic in one direction of the given cargo type, weight; q – is the average

loading of the car on the direction, tn; c_T – is a weighted average cost for the one ton of cargo, grn; d_{CT} – is a discount rate; $t_{\text{доct}}$ – is the average time of cargo when moving from the dispatch station to the destination one.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

The weighted average cost of one ton of cargo is determined using the formula [5]:

$$C_B = \sum_{j=1}^k \alpha_j c_{\text{вант}j}, \quad (2)$$

where j – is a cargo type; α_j – is a cargo share of the j type from the total cargo volume in the train; $c_{\text{вант}j}$ – is an average cost of the j cargo.

Findings

The operating domain connecting the industrial regions of Kryvyi Rih and Donbas is the research object. The Fig. 1 shows the network sections that can be used for train handling. Each section is described by the length parameters and the number of trains running in the doubled and nonpaired directions.

For the operating domain the structure of cargo volume was analyzed, the costs for each cargo type and the general traffic volumes with the distribution according to the cargo type was determined [3]. On the basis of the obtained data the weighted average cost for 1 tn of cargo in the particular train was determined. It is equal $C_B = 3\,020$ grn/tn. In addition to solve the problem the daily cargo volume according to the cargo type and the term of train running in the particular route were determined. Results of expense calculations for customers of cargo in motion depending on handle routes are shown in Fig. 2.

Analysis of the calculations shows that the cargo cost has quite a significant impact on costs of cargo owners. Reduce in transportation term by 1-3 hours may cost cargo owners several thousand UAH excluding the expenses for rolling stock. For the railway, in turn, it is more profitable to retain customers, transporting cargo of great cost because the rates for transporting are proportional to the cost. So it is recommended to pass the trains with more expensive cargo by the shortest routes.

Originality and Practical Value

The method of train traffic volume distribution in the network in operational conditions was improved. As opposed to the existing ones it allows choosing a route for handle of separate units of traffic volume according to the criterion of 1 ton of weighted average cost of the cargo in train set.

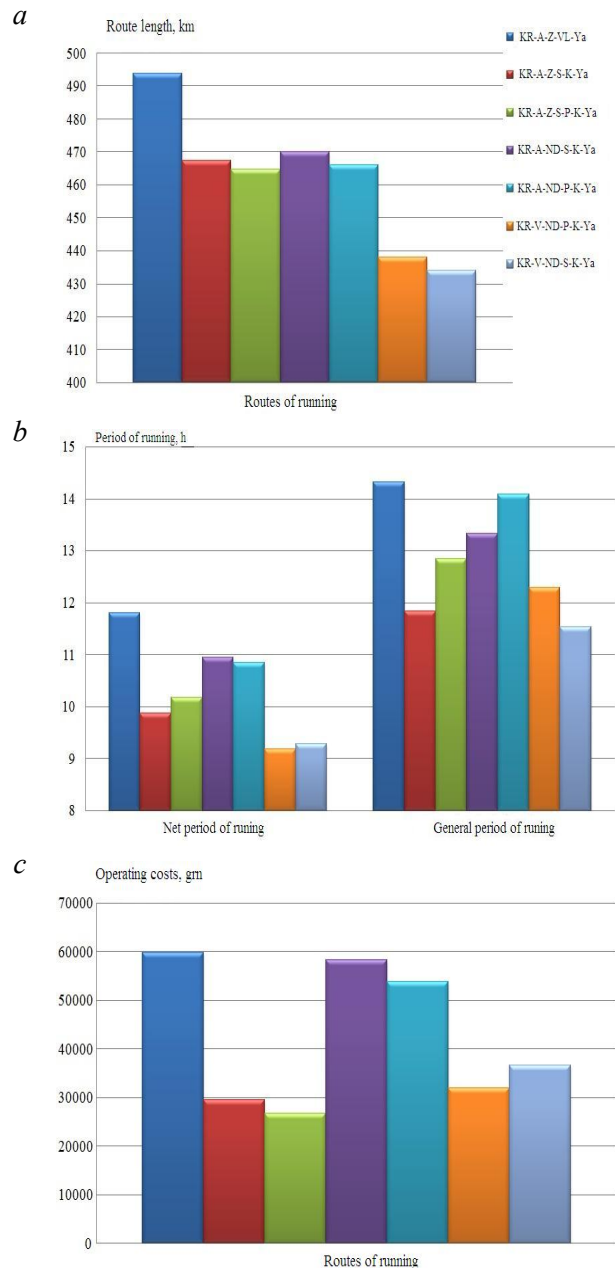


Fig. 3. Comparison of the possible routes for traffic volume handle in the domain:

a – total lengths of routes in the domain; *b* – time histograms of the freight trains depending on the routes of running; *c* – histogram of operating costs for one train handle depending on the routes of running

Taking into account the multiple circuit of railways and a large number of variants for handle of the particular train, the train and road dispatchers should cope with the task of determining the optimal route for a separate train and improvement of general operation performance of the domain sections. Most often,

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

when the problem arises, dispatchers are governed by regulatory documents (Plan for Train Formation, Schedule of train movement, etc.), which can not account all the changes of the train situation on the handle routes. First of all this affects the reduction of operation performance and the level of railway profitability. When the problem of distribution can not be solved by recommendations of regulatory documents, dispatcher takes operational decision on train distribution based on his own experience, but not always it gives maximal results.

As for the rationalization of freight trains handle it is proposed to take into account such criterion as the weighted average cost for 1 ton of cargo in the train and the load capacity of handle route sections. That is, when the problem of the separate train handling arises, the possible routes of the train running between stations of departure and destination are determined. The period of train running for each route is estimated using a model of railway domain or its separate directions [4, 8, 11, 12 13], load capacity of the section and weighted average cost for 1 ton of cargo in the train. This should provide the appropriate software equipment for AWM (automated work place) of dispatcher. According to these criteria, trains with more expensive cargo are departed by the shortest routes considering the load capacity of route sections. Research shows that with the load

capacity of the shortest route section of 85% and up, it is excluded from the priority variants and can be used in accordance with appropriate load capacity of all other routes only.

For the railway domain between the stations Kryvyi Rih Sortuvalnyi – Yasynuvata the main routes of freight trains running and the total period of running for a separate train with standard loading of sections, as well as the total operating costs for one train handle on the routes of running were determined.

Graphical comparison of routes is presented in Fig. 3.

Based on the obtained dependencies, one can conclude that it is reasonable to handle the trains with more expensive cargo on routes 2 and 3. Although they are not the shortest and the fastest the total operating costs are much lower than the faster routes 6 and 7. The train handle on routes 1, 4 and 5, which differ by significant cost and long period of transportation is not reasonable at all. First of all it is caused by the fact that the sections with diesel locomotive traction are included into the route. Therefore, one should handle the trains with relatively low weighted average cost for 1 ton of cargo in the train on these routes. These routes should only be used when the other ones are loaded. The general distribution of train traffic volume on the domain sections is presented on Fig. 4.

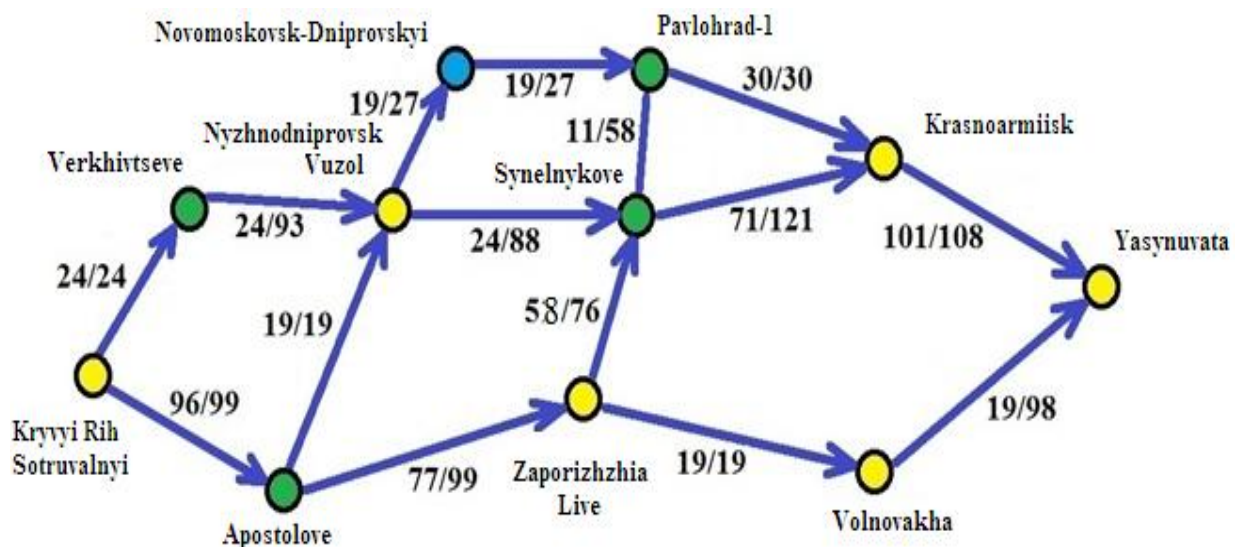


Fig. 4. Rational distribution of train traffic volume on domain.

a/c – distributed number of freight trains / maximum number of freight trains, which can be handled on the section including technical equipment and volumes of passenger trains traffic

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Conclusions

The article determines and analyzes additional expenses of cargo owners related to the use of funds to purchase the cargoes that are in the process of transportation. It was determined the connection between increase of the cargo delivery speed and decrease of these costs by the rational distribution of train traffic volume between the routes according to the criterion of the weighted average cost for 1 ton of cargo in the train. First of all, the technology will help the dispatch service of railways and the directions to carry out operational distribution of train traffic volume between the separate stations of the operating domain.

For the Ukrzaliznytsia in general the technology of operational distribution can serve as additional “lever” of competitive growth during cooperation with the cargo owners.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Босов, А. А. Визначення раціональних маршрутів руху поїздів на мережі доріг / А. А. Босов, Ю. В. Чибісов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 180–188.
2. Бутко, Т. В. Методологічний підхід до формування логістичних технологій на залізничному транспорті / Т. В. Бутко, Д. В. Ломотко // Залізн. трансп. України. – 2010. – № 4. – С. 47–49.
3. Державний комітет статистики. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>. – Назва з екрану.
4. Козаченко, Д. М. Моделювання роботи залізничного напрямку / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич, О. В. Власюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 28. – С. 143–148.
5. Мозолевич, Г. Я. Підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничній мережі / Г. Я. Мозолевич, Ю. В. Чибісов. – Д. : Вид-во Маковецький Ю. В., 2013. – 172 с.
6. Поттгофф, Г. Теория транспортных потоков / Г. Поттгофф ; под ред. Е. П. Нестерова. – М. : Транспорт, 1975. – 342 с.
7. Практичний посібник з упровадження технологіко-економічної моделі перевізного процесу. – К. : Голов. упр. перевезень, 2009. – 270 с.
8. Скалзуб, В. В. О приближенной декомпозиции NP-полных задач управления сложными процессами / В. В. Скалзуб, А. А. Бардас, М. В. Скалзуб // Системні технології. Регіональний міжвузівський зб. наук. пр. – 2011. – № 4 (75). – С. 174–184.
9. Чибісов, Ю. В. Вибір раціональних варіантів пропуску поїздопотоків по паралельних залізничних лініях за економічним критерієм / Ю. В. Чибісов // Вісн. НТУ «ХПИ». – Х., 2012. – Вип. 68. – С. 151–155.
10. Чибісов, Ю. В. Математична модель вибору раціональних варіантів пропуску поїздопотоків по залізничній мережі / Ю. В. Чибісов, Г. Я. Мозолевич // Восточно-европ. журн. передовых технологий. – 2012. – № 3/11 (57). – С. 37–41.
11. Campbell, S. Modeling and Simulation in Scilab/Scicos / S. Campbell. – New York : Springer, 2006. – 313 p.
12. Nesterenko, G. I. Optimal route selection when distributing the freight trainflow in the railway junction with the consideration of the level of the traffic capacity saturation / G. I. Nesterenko, Yu. V. Chibisov // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2012. – № 3 (174) – С. 138–143.
13. Newman, M. The structure and function of complex networks / M. Newman // SIAM Rev. – 2003. – № 45. – P. 167–256.

Г. Я. МОЗОЛЕВИЧ^{1*}

^{1*}Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 12, эл. почта MrMozG81@mail.ru

ОПЕРАТИВНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЕЗДОПОТОКОВ ПО УЧАСТКАМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛИГОНА

Цель. Задача оперативного распределения поездопотоков по участкам разветвленного железнодорожного полигона является оптимизационной, решаемой в оперативных условиях диспетчерским аппаратом. Цель статьи – формализация и поиск новых путей решения этой актуальной задачи. **Методика.** Предложен новый подход к решению задачи оперативного распределения поездопотоков по звеньям железнодорожной сети

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

с выбором маршрутов для всех единиц поездопотоков. **Результаты.** Проведено исследование возможных маршрутов пропуска поездопотоков по железнодорожному полигону, используемому для массовых перевозок грузов между Криворожем и Донбассом. Применение предложенной методики позволило получить рациональное распределение поездов по участкам сети. **Научная новизна.** Усовершенствован метод распределения потоков поездов на сети в оперативных условиях, который в отличие от существующих позволяет выбрать маршрут пропуска отдельных единиц потока по критерию средневзвешенной стоимости 1 т груза в составе. **Практическая значимость.** Использование предлагаемой технологии оперативного распределения поездопотоков повысит эффективность функционирования железных дорог в целом, обеспечит конкурентоспособность железнодорожных перевозок. Реализация методики предполагает использование диспетчерским аппаратом железных дорог автоматизированных рабочих мест с соответствующим информационным обеспечением.

Ключевые слова: распределение потоков; поездопоток; прибыль железных дорог; выбор маршрутов; задача оптимизации; железнодорожный полигон

Г. Я. МОЗОЛЕВИЧ^{1*}

^{1*}Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 12, ел. пошта MrMozG81@mail.ru

ОПЕРАТИВНИЙ РОЗПОДІЛ ПОЇЗДОПОТОКІВ ПО ЛАНКАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ПОЛІГОНУ

Мета. Задача оперативного розподілу поїздопотоків по ланках розгалуженого залізничного полігону є оптимізаційною, що вирішується в оперативних умовах диспетчерським апаратом. Метою статті є формалізація та пошук нових шляхів розв'язання цієї актуальної задачі. **Методика.** Запропоновано новий підхід щодо розв'язання задачі оперативного розподілу поїздопотоків по ланках залізничної мережі з вибором маршрутів для всіх одиниць поїздопотоку. **Результати.** Виконано дослідження можливих маршрутів пропуску поїздопотоків по залізничному полігону, який використовується для масових перевезень вантажів між Криворіжжям та Донбасом. Застосування запропонованої методики дозволило отримати раціональний розподіл поїздів по ланках мережі. **Наукова новизна.** Удосконалено метод розподілу потоків поїздів на мережі в оперативних умовах, що на відміну від існуючих дозволяє обрати маршрут пропуску окремих одиниць потоку за критерієм середньозваженої вартості 1 т вантажу в складі. **Практична значимість.** Використання запропонованої технології оперативного розподілу поїздопотоків підвищить ефективність функціонування залізниць в цілому, забезпечить конкурентоспроможність залізничних перевезень. Реалізація методики передбачає використання диспетчерським апаратом залізниць автоматизованих робочих місць з відповідним інформаційним забезпеченням.

Ключові слова: розподіл потоків; поїздопотік; прибуток залізниць; вибір маршрутів; завдання оптимізації; залізничний полігон

REFERENCES

1. Bosov A.A., Chybisov Yu.V. Vyznachennia ratsionalnykh marshrutiv rukhu poizdiv na merezhi dorih. [Definition of rational train routs on the roads network]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 180-188.
2. Butko T.V., Lomotko D.V. Metodolohichni pidkhyd do formuvannia lohistychnykh tekhnolohii na zaliznychnomu transporti [Methodological approach to logistics technologies formation for railway transport]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport in Ukraine*, 2010, no. 4, pp. 47-49.
3. *Derzhavnyi komitet statystyky* [State Statistics Committee]. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua> (Accessed 14 October 2013).
4. Kozachenko D.M., Mozolevych H.Ya., Vlasniuk O.V. Modeliuvannia roboty zaliznychnoho napriamku [Simulation of railway direction operation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue. 28, pp. 143-148.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

5. Mozolevych H.Ya., Chybisov Yu.V. *Pidvyshchennia efektyvnosti vantazhnykh perevezen na zaliznychnii merezhi* [Improving the efficiency of freight traffic on the railway network]. Dnipropetrovsk, Vyd-vo Makovetskyi Publ., 2013. 172 p.
6. Pottgoff G., Nesterov Ye.P. *Teoriya transportnykh potokov* [The theory of traffic flow]. Moscow, Transport Publ., 1975. 342 p.
7. *Praktychnyi posibnyk z uprovdzhennia tekhnoloho-ekonomichnoi modeli pereviznoho protsesu* [A practical guide on adoption of technological and economic model in transportation process]. Kyiv, Holovne upravlinnia perevezen Publ., 2009. 270 p.
8. Skalozub V.V., Bardas A.A., Skalozub M.V. O priblizhennoy dekompozitsii NP-polnykh zadach upravleniya slozhnyimi protsessami [About approximate decomposition of NP-complete problems of management by complex processes]. *Systemni tekhnologii – System technologies*, 2011, no. 4 (75), pp.174-184.
9. Chybisov Yu.V. Vybir ratsionalnykh variantiv propusku poizdopotoku po paralelnykh zaliznychnykh liniiah za ekonomichnym kryteriiem [Rational options choice of trail traffic handling on parallel railway lines by economic criterion]. *Visnyk NTU «KhPI»* [Bulletin of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»], 2012, issue 68, pp. 151-155.
10. Chybisov Yu.V., Mozolevych H.Ya. Matematychna model vyboru ratsionalnykh variantiv propusku poizdopotokiv po zaliznychnii merezhi [Mathematical model of rational options choice in train traffic handling on railway networks]. *Vostochno-yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohyi – East-European Journal of Advanced Technologies*, 2012, no. 3/11 (57), pp. 37-41.
11. Campbell S. *Modeling and Simulation in Scilab/Scicos*. New York, Springer Publ., 2006. 313 p.
12. Nesterenko G.I., Chybisov Yu.V. Optimal route selection when distributing the freight trainflow in the railway junction with the consideration of the level of the traffic capacity saturation. *Visnyk Shkhydnoукраїнського національного університету імені В. Дала* [Bulletin of East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl], 2012, no. 3 (174), pp. 138-143.
13. Newman M. The structure and function of complex networks. *SIAM Review*, 2003, no. 45, pp. 167-256.

Prof. V. I. Bobrovskiy, D. Sc. (Tech); Prof. Ye. S. Aleshynskiy, D. Sc. (Tech) recommended this article to be published

Received: August 20, 2013

Accepted: September 10, 2013

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК [725.1:613.47–026.912]:628.1'17

В. Ф. ИВИН^{1*}, Б. Е. БОДНАРЬ²

^{1*}Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 87

²Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 34, эл. почта bodnar@nz.diit.edu.ua

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОТКРЫТЫХ ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ

Цель. Экономия энергоресурсов является основной задачей современной энергетики и различных энергопотребляющих устройств. К энергоемким устройствам относятся открытые плавательные бассейны, для поддержания рабочего состояния которых требуется значительное количество тепловой энергии, особенно в зимнее время. В работе ставится задача существенного снижения теплопотерь открытых плавательных бассейнов на примере плавательного бассейна ДНУЖТа. **Методика.** Используется методика определения массо- и теплопотерь на основе критериальных уравнений теории тепло- и массообмена. **Результаты.** В работе выполнены расчеты реальных тепловых потерь бассейна ДНУЖТа для различных времен года, как для условий естественной конвекции, так и для вынужденного движения воздуха над свободной поверхностью воды. Показано, что для условий адиабатного испарения воды с поверхности бассейна в зимнее время при обдуве ветром теплопотери могут достигать до 2 кВт/м² поверхности. Для их снижения в работе предлагается на время, когда бассейн не используется по назначению, покрывать поверхность воды специальным материалом с малой теплопроводностью на основе пористого полиэтилена. Это позволит снизить реальные теплопотери как минимум в 5–6 раз. **Научная новизна.** Решение важной эколого-энергетической проблемы благодаря снижению потерь тепла бассейном в различные времена года и соответственно уменьшению выбросов энергогенерирующих предприятий. **Практическая значимость.** В работе показано, что покрытие поверхности бассейна низкотеплопроводным легкомонтируемым покрытием позволит снизить реальные теплопотери как минимум в 5–6 раз и уменьшить вредные выбросы электростанций, вырабатывающих энергию для подогрева бассейна.

Ключевые слова: энергосбережение; экономия энергоресурсов; открытые плавательные бассейны; загрязнения окружающей среды

Введение

В связи с существенным повышением цен на энергоносители в мире и в Украине особенно остро встают вопросы их экономичного использования. В качестве примера рассмотрим использование энергоносителей при эксплуатации открытого плавательного бассейна ДНУЖТа.

Согласно нормам для обеспечения рабочего состояния такого типа бассейнов среднегодовая

температура воды должна поддерживаться на уровне 26 °С. Температура же окружающего воздуха над свободной поверхностью воды в бассейне ДНУЖТа в зависимости от времени года изменяется в условиях Днепропетровска от – 23 до + 24 °С [9]. Такой большой перепад температур приводит к значительным потерям тепла со свободной поверхности бассейна и, как следствие, к значительному перерасходу природного газа, сжигаемого для поддержания бассейна в рабочем состоянии.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Анализ общих теплотерь открытых бассейнов показал, что если теплотери за счет контакта воды с чашей бассейна практически невозможно уменьшить без существенной доработки их конструкций, то теплотери с открытого зеркала бассейна за счет конвекции, теплового излучения и массообмена можно значительно снизить.

Одним из путей уменьшения этих потерь может быть сооружение над бассейном крытого стационарного помещения, что является очень дорогостоящим мероприятием и уменьшает эстетическое удовольствие от плавания под открытым небом, особенно в зимнее время. Другой, более дешевый путь заключается в покрытии зеркала бассейна специальным низкотеплопроводным энергосберегающим материалом на время, когда бассейн ДНУЖТа не используется по прямому назначению.

Цель

Целью настоящей работы является оценка реальных теплотерь со свободной поверхности бассейна ДНУЖТа и оценка снижения этих потерь путем покрытия его специальным энергосберегающим материалом.

Оценка теплотерь с поверхности бассейна в зависимости от времени года и состояния воздушной среды над ним показала, что их можно разделить на три составляющие:

- при естественной конвекции;
- при вынужденной конвекции;
- при испарении жидкости с зеркала бассейна.

В соответствии с этим в работе выполнена оценка влияния каждой из этих составляющих.

Методика

В работе используется методика определения массо- и теплотерь на основе критериальных уравнений теории тепло- и массообмена.

Результаты

Теплотери бассейна за счет естественной конвекции. Данные теплотери были оценены по формуле О. В. Нестеренко [7]

$$Nu = 5(Gr Pr)^{0,104}, \quad (1)$$

где Nu – критерий Нуссельта, $Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$; Gr –

критерий Архимеда; Pr – число Прандтля, $Pr = \frac{V}{a}$ (a – коэффициент температуропроводности воздуха).

$$Gr = Ga \frac{\rho_B - \rho_F}{\rho_B} = \frac{g l^3}{V^2} \frac{\rho_B - \rho_F}{\rho_B},$$

где Ga – критерий Галилея, $Ga = \frac{g l^3}{V^2}$ (g – ускорение силы тяжести; V – кинематический коэффициент вязкости воздуха); ρ_B и ρ_F – плотность окружающего воздуха и воздуха в пограничном слое (вода-воздух) соответственно.

Расчеты выполнялись для зеркала бассейна площадью $F = B \times l = 10 \times 25$ м, температуры поверхности зеркала $t_{\text{п}} = 27^\circ\text{C}$ в диапазоне изменения температуры окружающего воздуха от $+23$ до -24°C (минимум для Днепропетровска) [11, 12].

В целях применимости для расчетов формулы (1), которая справедлива в диапазоне изменения произведения $3 \cdot 10^6 \leq Gr \cdot Pr \leq 2 \cdot 10^8$, расчеты проводились для элементарной ширины зеркала бассейна $b = 0,25$ м и длины $l = 25,0$ м. В последующем полученные результаты расчетов суммировались для всей поверхности бассейна.

Результаты расчетов зависимости коэффициентов теплоотдачи α_c от воды к воздуху в расчетном интервале температур для элементарной ячейки зеркала бассейна представлены на рис. 1.

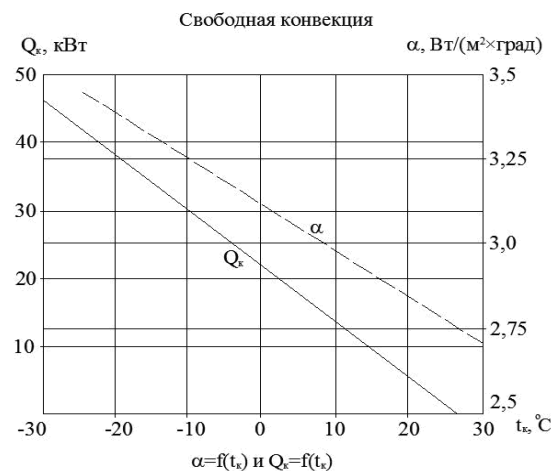


Рис. 1

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Там же представлена величина суммарних тепловпотерь всех элементарных ячеек бассейна за счет естественной конвекции в том же интервале температур, которые оценивались по формуле Ньютона [1–5, 8, 10, 13]

$$Q_k = \alpha_c F (t_w - t_b), \quad (2)$$

где t_w и t_b – температуры поверхности воды и окружающего воздуха соответственно.

Теплопотери при вынужденном движении воздуха над свободной поверхностью воды. Коэффициенты теплоотдачи для данных условий оценивались по критериальным зависимостям, справедливым для процессов адиабатного испарения воды [7]

$$\overline{Nu} = 0,027 Re_f^{0,9} Pr_f^{0,33} Gu^{0,175} \theta, \quad (3)$$

где Gu – температурный фактор, $Gu = \frac{T_c}{T_F}$

(T_F – абсолютная температура поверхности воды, К) или параметрический критерий.

Результаты расчетов зависимости коэффициента теплоотдачи $\alpha_k = f(w)$ от воды к воздуху в расчетном интервале температур представлены на рис. 2.

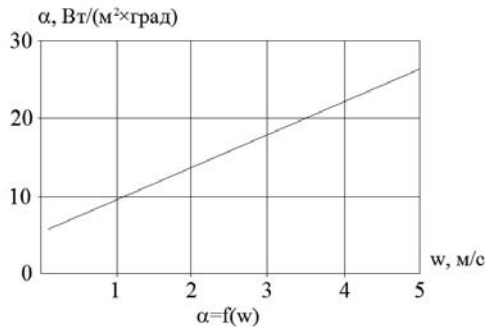


Рис. 2

На рис. 3 представлена величина теплопотерь зеркала бассейна за счет вынужденной конвекции в том же интервале температур, что и для случая теплопотерь при естественной конвекции.

Расчеты теплопотерь для различных скоростей обдува ветром поверхности бассейна выполнялись по закону Ньютона–Рихмана

$$Q_k = \alpha_k F (t_F - t_b),$$

где средний коэффициент конвективной тепло-

отдачи от свободной поверхности воды к воздуху при вынужденной конвекции определялся как

$$\alpha_k = \frac{\overline{Nu} \cdot \lambda}{b}, \quad (4)$$

где b – минимальный размер элементарной ячейки поверхности бассейна.

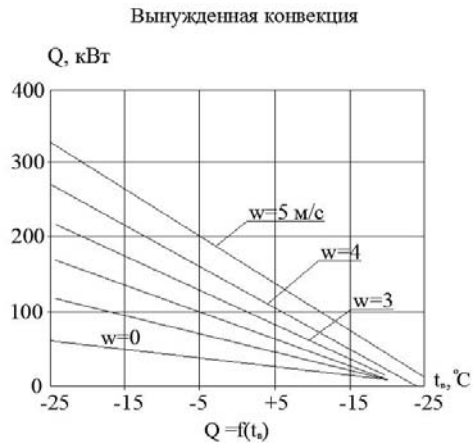


Рис. 3

Анализ полученных в результате расчетов величин теплопотерь с поверхности зеркала бассейна ДНУЖТа в расчетном диапазоне температур окружающего воздуха г. Днепропетровска показал, что даже в спокойную погоду в зимнее время они могут составлять 40...50 кВт, а при обдуве ветром доходить до 300 кВт. В пересчете на единицу площади бассейна эти потери доходят до 2 кВт/м². А если учесть еще и неадиабатичность протекания процессов теплообмена зеркала бассейна с окружающей средой, сопровождающегося процессом испарения жидкости, то величины теплопотерь могут еще более возрасти.

Исходя из этого, в работе была проведена оценка ожидаемых теплопотерь бассейна с учетом использования теплозащитного покрытия.

Расчет теплопотерь бассейна, покрытого теплоизолирующим материалом (вспененный полиэтилен). Вспененный полиэтилен выпускается в виде рулонов длиной 1,2/1,5 м, шириной 40/70 м и толщиной 10, 15 и 20 мм. Удельная плотность $\rho = 30$ кг/м³. Диапазон рабочих температур – 50...+ 105 °С. Коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,040$ Вт/м град.

Такие благоприятные теплофизические характеристики вполне могут быть использованы для уменьшения теплопотерь бассейна

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ДНУЖТа путем покрытия зеркала бассейна рулонным вспененным полиэтиленом в ночное и в неиспользуемое для плавания время.

Применение данного покрытия сразу исключит из перечня вышеприведенных теплотерь потери за счет испарения жидкости. Исходя из этого, процесс передачи тепла от зеркала воды бассейна через покрытие в окружающий воздух можно представить как теплопередачу от воды к воздуху через разделяющую стенку.

Оценка теплотерь бассейна с учетом покрытия его теплоизолирующим материалом выполнялась по зависимости

$$Q = kF(t_F - t_B), \quad (5)$$

где k – коэффициент теплопередачи от воды к воздуху; F – площадь зеркала бассейна; t_B и t_F – температуры воды и воздуха.

Коэффициент теплопередачи рассчитывался по зависимости

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_F} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_B}}, \quad (6)$$

где α_F и α_B – коэффициенты теплоотдачи от воды к покрытию и от покрытия к воздуху, Вт/м²·град.; δ – толщина покрытия, м.; λ – коэффициент теплопроводности покрытия, Вт/м·град.

Так как коэффициент теплоотдачи к воздуху α_B второго порядка малости по сравнению с коэффициентом теплоотдачи к воде α_F , то им можно пренебречь и зависимость (6) примет вид:

$$k = \frac{1}{\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_B}}. \quad (7)$$

Коэффициенты теплоотдачи от покрытия к воздуху определялись по зависимости

$$Nu = 0,032 Re_{\lambda}^{0,8}, \quad (8)$$

где $Re = \frac{wl}{\nu}$ – критерий Рейнольдса (где l – длина бассейна).

Результаты расчетов ожидаемых коэффициентов теплоотдачи от покрытия в зависимости от температуры окружающего воздуха и скоро-

сти обдува покрытия ветром представлены на рис. 4, а на рис. 5 приведены теплотери бассейна, покрытого теплоизолирующим материалом, в зависимости от толщины покрытия.

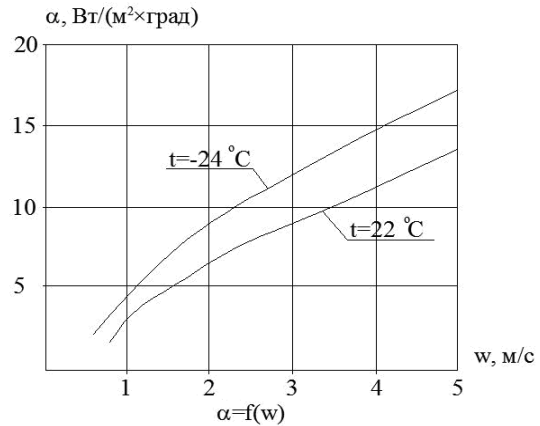


Рис. 4

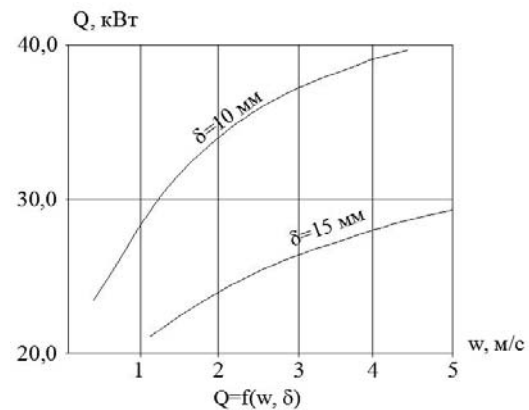


Рис. 5

Научная новизна и практическая значимость

Предложен способ защиты открытых подогреваемых плавательных бассейнов от тепловых потерь с помощью специального теплоизолирующего покрытия.

Применение его позволит в несколько раз снизить тепловые потери бассейнов, уменьшить расход тепла на их подогрев и снизить тепловое загрязнение окружающей среды.

Выводы

Сравнение расчетных теплотерь открытого бассейна и бассейна с теплоизолирующим покрытием показало, что использование его может на порядок уменьшить теплотери.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

А если учесть, что время полезной эксплуатации бассейна к времени простоя составляет величину порядка 50 %, то реальные потери тепла бассейном ДНУЖТа могут быть уменьшены как минимум в 5–6 раз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М. : Энергия, 1981. – 416 с.
2. Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. – М.; Л. : Машгиз, 1962. – 456 с.
3. Лабай, В. И. Тепломассообмен / В. И. Лабай. – Львов : Триада Плюс, 1998. – 256 с.
4. Лыков, А. В. Тепломассообмен. Справочник / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1965. – 560 с.
5. Мак-Адамс, В. Х. Теплопередача / В. Х. Мак-Адамс. – М. : Металлургиздат, 1961. – 686 с.
6. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : Энергия, 1977. – 343 с.
7. Нестеренко, А. В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха / А. В. Нестеренко. – М. : Высшая шк., 1971. – 460 с.
8. Осипова, В. А. Теория подобия и размерностей, моделирование и аналогия в тепловых процессах / В. А. Осипова. – М. : МЭИ, 1962. – 115 с.
9. Справочник по теплоснабжению и вентиляции : в 2 т. / под общ. ред. Р. В. Щекина. – К. : Будівельник, 1976. – 2 т.
10. Теория тепломассообмена / под ред. А. И. Леонтьева. – М. : Высшая шк., 1979. – 495 с.
11. Теплотехнический справочник : в 2 т. / под общ. ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. – М. : Энергия, 1975–1976. – 2 т.
12. Чиркин, В. С. Теплофизические свойства веществ / В. С. Чиркин. – М. : Физматгиз, 1959. – 356 с.
13. Эккерт, Э. Р. Теория тепло- и массообмена / Э. Р. Эккерт, Р. М. Дрейк. – М. : Госэнергоиздат, 1961. – 680 с.
14. An overview of heat transfer enhancement methods and new perspectives: Focus on active methods using electroactive materials / L. Léal, M. Miscevic, P. Lavieille et al. // Intern. J. of Heat and Mass Transfer. – 2013. – Vol. 61. – P. 505–524.
15. Heat Transfer-A Review of 2004 Literature / R. J. Goldstein, W. E. Ibele, S. V. Patankar et al. // Intern. J. of Heat and Mass Transfer. – 2010. – Vol. 53, iss. 21. – P. 4397–4447.
16. Tsung-Lin, Liu. Boiling heat transfer of co- and counter-current microchannel heat exchangers with gas heating / Liu Tsung-Lin, Ben-Ran Fu, Chin Pan // Intern. J. of Heat and Mass Transfer. – 2013. – Vol. 56, iss. 1–2. – P. 20–29.

В. Ф. ІВІН^{1*}, Б. Є. БОДНАР²

^{1*}Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87

²Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 34, ел. пошта bodnar@nz.dit.edu.ua

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІДКРИТИХ ПЛАВАЛЬНИХ БАСЕЙНІВ

Мета. Економія енергоресурсів є основним завданням сучасної енергетики. До енергоємних пристроїв належать відкриті плавальні басейни, для підтримання робочого стану яких потрібна значна кількість теплової енергії, особливо в зимовий час. У роботі ставиться завдання суттєвого зниження тепловтрат відкритих плавальних басейнів на прикладі плавального басейну ДНУЗТу. **Методика.** Використовується методика визначення масо- і тепловтрат на основі критеріальних рівнянь теорії тепло- і масообміну. **Результати.** У роботі виконано розрахунки реальних теплових втрат басейна ДНУЗТа для різних пір року, як для умов природної конвекції, так і для вимушеного руху повітря над вільною поверхнею води. Показано, що для умов адіабатного випаровування води з поверхні басейну в зимовий час у разі обдування вітром тепловтрати можуть доходити до 2 кВт/м² поверхні. Для їх зниження в роботі пропонується на час, коли басейн не використовується за призначенням, покривати поверхню води в басейні спеціальним матеріалом з малою теплопровідністю на основі пористого поліетилену. Показано, що впровадження цих заходів дозволить знизити реальні тепловтрати басейну як мінімум у 5–6 разів. **Наукова новизна.** Вирішення важливої еколого-енергетичної проблеми завдяки зниженню втрат тепла басейном у різні пори року й відповідно зменшенню

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

викидів енергогенеруючих підприємств. **Практична значимість.** У роботі показано, що покриття поверхні басейну низькотеплопровідним покриттям, легким у монтажі, дозволяє знизити реальні тепловтрати як мінімум у 5–6 разів і зменшити шкідливі викиди електростанцій, які виробляють енергію для підігріву басейна.

Ключові слова: енергозбереження; економія енергоресурсів; відкриті плавальні басейни; забруднення навколишнього середовища

V. F. IVIN^{1*}, B. YE. BODNAR²

^{1*}Dep. «Heating engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. + 38 (056) 373 15 87

²Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 34, e-mail bodnar@nz.diit.edu.ua

ENERGY SAVING AT OPERATION OF OUTDOOR SWIMMING POOLS

Purpose. Energy saving is a major problem in modern power engineering and various energy-consuming devices. They include outdoor swimming pools. In order to maintain them in working condition, especially in winter period, it takes significant amount of thermal energy. Task of heat loss substantial decrease in open swimming pools is considered in the article (on DNURT example). **Methodology.** The method of determining the mass and heat loss on the basis of criteria equations of heat and mass transfer theory is used. **Findings.** Calculations of the actual DNURT pool heat loss for different seasons, as for natural convection both for air forced motion above the free water surface are performed. It is shown that for the adiabatic evaporation conditions of water from the pool in winter during blow-off with wind the heat loss can be up to 2 kW/m² on surface. To reduce these losses it is offered to cover water surface in a pool with a special material with low thermal conductivity on the basis of porous polyethylene during the time when the pool is not used for other purposes. It is shown that the implementation of these standards will reduce the actual heat loss, at least 5-6 times. **Originality.** The solution of important environmental and energy problem thanks to reducing heat losses by the pool in different times of a year and correspondingly lower emissions of power generating enterprises. **Practical value.** It is shown that the coating surface of the pool with poorly heat-conducting and easy to install coating will let, at a minimum, to reduce the actual heat loss on 5-6 times and reduce the emissions of power plants generating energy for pool heating.

Keywords: energy saving; energy supply economy; outdoor swimming pools; environmental pollution

REFERENCES

1. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. *Teploperedacha* [Heat transfer]. Moscow, Energiya Publ., 1981. 416 p.
2. Kutateladze S.S. *Osnovy teorii teploobmena* [Fundamentals of the theory of heat transfer]. Moscow, Leningrad, Mashgiz Publ., 1962. 456 p.
3. Labay V. I. *Teplomassoobmen* [Heat and Mass Transfer]. Lviv, Triada Plus Publ., 1998. 256 p.
4. Lykov A.V. *Teplomassoobmen. Spravochnik* [Heat and Mass Transfer. Thermal guide]. Moscow, Energiya Publ., 1965. 560 p.
5. Mak-Adams V.H. *Teploperedacha* [Heat transfer]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1961. 686 p.
6. Mikheyev M.A., Mikheyeva I.M. *Osnovy teploperedachi* [Fundamentals of Heat Transfer]. Moscow, Energiya Publ., 1977. 343 p.
7. Nesterenko A.V. *Osnovy termodinamicheskikh raschetov ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh* [Fundamentals of thermodynamic calculations of ventilation and air-conditioning]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971. 460 p.
8. Osipova V.A. *Teoriya podobiya i razmerennostey, modelirovaniye i analogiya v teplovykh protsessakh* [Similarity theory and regularity, analogy and modeling in thermal processes]. Moscow, MEI Publ., 1962. 115 p.
9. Shchekin R.V. *Spravochnik po teplosnabzheniyu i ventilyatsii. V 2-kh tomakh* [Handbook of heating and ventilation. Volume 1, 2]. Kyiv, Budivel'nik Publ., 1976.
10. Leontyev A.I. *Teoriya teplomassoobmena* [Theory of Heat and Mass Transfer]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1979. 495 p.
11. Yurenev V.N., Lebedev P.D. *Teplotekhnicheskii spravochnik. V 2-kh tomakh* [Thermal guide. Volume 1, 2]. Moscow, Energiya Publ., 1975-1976.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

12. Chirkin V.S. *Teplofizicheskiye svoystva veshchestv* [Thermo-physical properties of materials]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1959. 356 p.
13. Ekkert Ye.R., Dreyk R.M. *Teoriya teplo- i massoobmena* [Theory of Heat and Mass Transfer]. Moscow, Gosenergoizdat Publ., 1961. 680 p.
14. Léal L., Miscevic M., Lavieille P. An overview of heat transfer enhancement methods and new perspectives: Focus on active methods using electroactive materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013, vol. 61, pp. 505-524.
15. Goldstein R.J., Ibele W.E., Patankar S.V. Heat Transfer-A Review of 2004 Literature. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2010, vol. 53, issue 21, pp. 4397-4447.
16. Tsung-Lin Liu, Ben-Ran Fu, Chin Pan. Boiling heat transfer of co- and counter-current microchannel heat exchangers with gas heating. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013, vol. 56, issue 1-2, pp. 20-29.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. С. З. Полищуком (Украина); д.т.н., проф. Н. Н. Беляевым (Украина)

Поступила в редколлегию 15.08.2013

Принята к печати 04.09.2013

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.423.1.076.004.18

Г. К. ГЕТЬМАН¹, В. Е. ВАСИЛЬЕВ^{1*}

^{1*}Каф. «Електроподвижной состав железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта wasiljew@ukr.net

¹Каф. «Електроподвижной состав железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта getman-gk@i.ua

ЕЩЕ РАЗ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ЗА СЧЕТ ЧАСТИЧНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Цель. Известные методы определения экономии электроэнергии за счет отключения части тяговых двигателей, основанные на сравнении их к. п. д. или мощности потерь энергии, в общем случае не позволяют получить объективную оценку полезности данного мероприятия, а в ряде случаев приводят к ошибочным результатам и заблуждениям. Необходим поиск новых, более совершенных методов определения экономии электроэнергии при частичном отключении тяговых двигателей. **Методика.** Предложен метод расчетного определения экономии электроэнергии при частичном отключении тяговых двигателей, базирующийся на использовании в качестве показателя рациональности режима нагружения расхода электроэнергии на измеритель перевозочной работы. **Результаты.** Приведены математические выражения, по которым возможно определить экономию электроэнергии как в относительных, так и в абсолютных величинах и установить условия (скорость движения и уклон пути), при которых экономия будет иметь место. **Научная новизна.** Предложена методика решения задачи, которая базируется не на сравнении к. п. д. или разности мощности потерь энергии, а на оценке разности расхода электроэнергии для сравниваемых вариантов. **Практическая значимость.** Приведенная методика позволяет получить более точные выводы в отношении расхода электроэнергии, поскольку сравнение мощности потерь энергии или к. п. д. не определяют однозначно расход электроэнергии на тягу, поэтому выводы, основанные на сравнении мощности потерь энергии или к. п. д., могут оказаться неточными.

Ключевые слова: расход электроэнергии; тяга поездов; электрическая тяга; отключение части тяговых двигателей

Введение

История применения электрической тяги неразрывно связана с поиском резервов снижения энергоемкости перевозок, поскольку издержки на возмещение затрат электроэнергии на тягу поездов составляют ощутимую долю эксплуатационных расходов железных дорог.

В связи с ростом цен на энергоносители вопросы энергоснабжения особую актуальность приобрели в последние десятилетия как в на-

шей стране, так и за рубежом [20–22]. Появились новые работы, посвященные исследованию различных аспектов этой проблемы [5, 9–11, 14]. В частности, возобновился интерес к хорошо известной специалистам-электротяговикам проблеме экономии электроэнергии на тягу поездов за счет частичного отключения тяговых двигателей, т. е. за счет регулирования величины используемой части установленной мощности.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

О возможности экономии электроэнергии за счет отключения части тяговых двигателей (или части тяговых единиц в случае кратной тяги) на легких элементах профиля или при вождении неполновесных поездов известно из классических трудов по электрической тяге.

Идея способа базируется на том, что работа электровоза с поездами малого веса осуществляется при малых значениях тока, которым соответствуют пониженные значения к. п. д. тяговых двигателей. При отключении части тяговых двигателей ток оставшихся в работе двигателей увеличивается, что и обеспечивает реализацию заданного режима ведения поезда при более высоком к. п. д. электровоза.

Следует подчеркнуть, что возможность экономии электроэнергии за счет отключения части тяговых двигателей была подтверждена опытом эксплуатации на линиях, электрифицированных как на постоянном, так и на переменном токе [2, 6, 12, 15]. Аналогичные выводы получены также по результатам исследований, выполненных учеными ВНИИЖТа и его Уральского отделения, а также группой ученых ОМИИТа под руководством к. т. н. Р. Я. Медлина [1, 14].

Однако в отношении целесообразности частичного отключения тяговых двигателей нет единого мнения среди специалистов-электро-тяговиков. В подтверждение сказанному можно назвать статью «И все же двигатели отключать не следует» [7], одним из авторов которой является известный специалист в области электрической тяги д. т. н. А. С. Курбасов. К этому следует добавить, что авторы некоторых публикаций отрицают саму возможность экономии электроэнергии указанным способом [11].

Противоречивость мнений по данному вопросу обусловлена, главным образом, несовершенством используемых при его решении методов.

Сказанное относится в равной мере как к ранее выполненным работам, так и к ряду исследований, опубликованных в последнее время. Это обстоятельство в сочетании с важностью задач, относящихся к поиску резервов экономии электроэнергии на тягу поездов, побудило авторов к рассмотрению в настоящей статье задач об определении экономии электроэнергии за счет частичного отключения тяговых двигателей, ранее обсуждавшихся в [3].

В выполненных исследованиях для подтверждения целесообразности отключения части тяговых двигателей используется два способа. Первый базируется на сравнении мощности потерь энергии в тяговых двигателях, а второй – на сравнении их к. п. д.

Более часто применение находит второй способ вследствие:

- доступности данных о к. п. д. тяговых двигателей, определение которых согласно ГОСТ 2582-81 входит в программу их квалификационных испытаний;
- простоты и наглядности сравнения вариантов, а также кажущейся убедительности выводов.

Например, в [18] на данных о к. п. д. основано сравнение экономичности работы электровоза серии ВЛ8 при использовании 8 и 6 тяговых двигателей. С этой целью для сравниваемых вариантов построены зависимости к. п. д. η тягового двигателя типа НБ-406 от тока электровоза I_Σ , как показано на рис. 1 (заимствован из [18]). Режимы ослабления возбуждения для каждого варианта выбраны так, чтобы получить для них максимально приближенные тяговые характеристики электровоза.

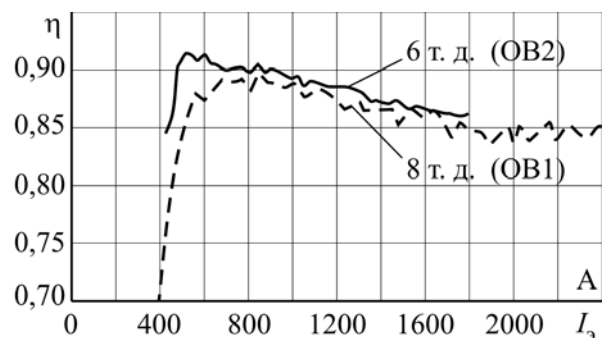


Рис. 1

На основании анализа графиков рис. 1 в [18] сделан вывод, что характеристика $\eta(I_\Sigma)$ для случая работы электровоза ВЛ8 в режиме ОВ1 на восьми ТЭД (при напряжении на двигателе 1500 В) лежит несколько ниже той же характеристики электровоза при работе на шести двигателях в режиме ОВ2 при том же напряжении на ТЭД, а поэтому второй режим будет более экономичным – с более высоким к. п. д.

Приведенный пример наглядно демонстрирует преимущества рассмотренного способа решения задачи – простоту и наглядность.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Однако заметим, что, если в цитированной работе под более экономичным понимается режим, обеспечивающий снижение расхода электроэнергии на тягу, то приведенное заключение, как будет показано ниже, не является бесспорным.

Первый из вышеперечисленных способов решения задачи, то есть путем сравнения мощности потерь энергии в тяговых двигателях, встречается реже, так как требует выполнения некоторого объема дополнительных вычислений.

Названные подходы к решению задачи приводят, как будет показано далее, к одинаковым результатам, однако ни один из них не позволяет однозначно установить предпочтительный по энергозатратам вариант, что может приводить к некорректным выводам, к ошибкам и заблуждениям.

Цель

Целью данной работы является поиск новых, более совершенных методов определения экономии электроэнергии при частичном отключении тяговых двигателей.

Методика

Пусть приведенные на рис. 2 кривые $F_{k1}(v)$ и $W_{k1}(v)$ представляют соответственно зависимости силы тяги и полного сопротивления движению поезда от скорости при числе включенных двигателей $m = m_1$, а кривые $F_{k2}(v)$ и $W_{k2}(v)$ – те же зависимости при $m = m_2 \neq m_1$. Причем, если m_1 равно числу установленных на электровозе тяговых двигателей, то число отключенных двигателей равно $m_1 - m_2$. В этом случае при принятых в теории электрической тяги подходах к определению приведенных к ободу колес расчетных значений силы тяги и силы сопротивления движению имеет место неравенство $W_{k2}(v) > W_{k1}(v)$.

Точки пересечения зависимостей $W_k(v)$ и $F_k(v)$, то есть кривых сопротивления движению и тяговых характеристик, определяют параметры (сила тяги и скорость) установившегося режима движения ($F_{k1} = W_{k1}$, v_1 и $F_{k2} = W_{k2}$, v_2).

Сила тяги электровоза, реализуемая при заданной скорости движения, определяется чис-

лом тяговых двигателей, уровнем напряжения на коллекторе и током возбуждения. Поэтому возможность реализации близких или совпадающих тяговых характеристик $F_{k1}(v)$ и $F_{k2}(v)$ при $m = m_1$ и $m = m_2$ зависит от используемого способа регулирования мощности тяги.

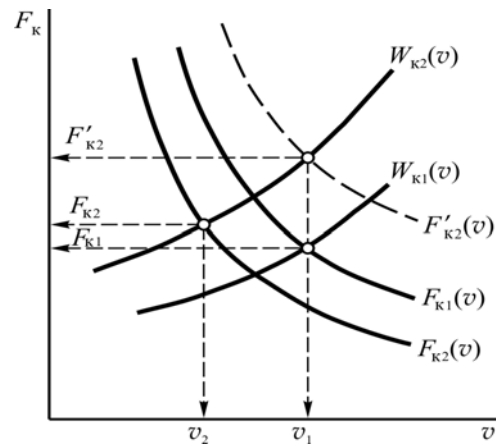


Рис. 2

Из рис. 2 следует, что при отключении части тяговых двигателей скорость движения можно сохранить неизменной, если обеспечить реализацию тяговой характеристики

$$F'_{k2}(v) = F_{k1}(v) + \Delta W(v) \text{ или}$$

$$F'_{k2}(v) = F_{k1}(v) + [W_{k2}(v) - W_{k1}(v)].$$

Увеличение силы тяги на ΔW при неизменной скорости движения осуществимо на электроподвижном составе с плавным регулированием мощности тяги. При ступенчатом регулировании напряжения и тока возбуждения можно получить только близко расположенные характеристики $F_{k1}(v)$ и $F_{k2}(v)$, но не совпадающие. Стало быть, применительно к эксплуатируемым в настоящее время электровозам серий ВЛ и ЧС следует исходить из того, что отключение части тяговых двигателей при прочих равных условиях обусловит изменение параметров режима движения – силы тяги и скорости. Так, если при частичном отключении тяговых двигателей тяговая характеристика соответствует показанной на рис. 2 кривой $F_{k2}(v)$, то установившемуся режиму движения будет соответствовать сила тяги $F_{k2} \neq F_{k1}$ и скорость $v_2 \neq v_1$.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Опуская далее для краткости при обозначениях F_k и W_k индексы «к», представим потребляемую электровозом из контактной сети при $m = m_1$ и $m = m_2$ мощность как:

$$P_{31} = F_1 v_1 + P_1; P_{32} = F_2 v_2 + P_2,$$

где F_1 и F_2 – соответствующие $m = m_1$ и $m = m_2$ значения силы тяги; P_1 и P_2 – мощность суммарных потерь при $m = m_1$ и $m = m_2$ соответственно.

В выполненных ранее работах в качестве показателя целесообразности отключения части тяговых двигателей используют удельную величину – изменение мощности потерь энергии, выраженное в абсолютных или относительных единицах:

$$\Delta p = P_1 - P_2, \text{ кВт, или}$$

$$\Delta p^* = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100, \% . \quad (1)$$

Значения P_1 и P_2 и их разность определяют как:

$$P_1 = m_1 p_1(v_1);$$

$$P_2 = (m_1 - m_2) p_{\text{мх}}(v_2) + m_2 p_2(v_2), \quad (2)$$

$$\Delta p = m_1 p_1(v_1) - [(m_1 - m_2) p_{\text{мх}}(v_2) + m_2 p_2(v_2)], \quad (3)$$

где $p_1(v_1)$ и $p_2(v_2)$ – суммарные мощности потерь в тяговом приводе одной оси при $m = m_1$ и $m = m_2$ и скорости движения v_1 и v_2 соответственно; $p_{\text{мх}}(v_2)$ – механические потери в тяговом приводе оси при скорости движения v_2 .

Отметим следующее, важное для дальнейшего изложения, обстоятельство.

В теории электрической тяги механические потери в отключенных тяговых двигателях принято учитывать путем увеличения основного сопротивления движению поезда на величину ΔW , равную

$$\Delta W(v) = (m_1 - m_2) \frac{p_{\text{мх}}(v)}{v}. \quad (4)$$

Если воспользоваться расчетными выражениями для определения удельного основного сопротивления движению электровоза под током $w'_o(v)$ и на выбеге $w_x(v)$, выраженного в ньютонах на килоньютон, то численное значение ΔW , Н, можно рассчитать как

$$\Delta W(v) = \frac{9,81(m_1 - m_2)}{m_1} m_3 \times [w_x(v) - w'_o(v)], \quad (5)$$

где m_3 – масса электровоза, т.

Разность мощности потерь энергии Δp можно определить также по заданным зависимостям к. п. д. двигателя от скорости движения поезда для сравниваемых вариантов.

В этом случае потребляемая из сети мощность определяется как:

$$P_{31} = \frac{W_1(v_1)v_1}{\eta_1(v_1)}; P_{32} = \frac{W_2(v_2)v_2}{\eta_2(v_2)}, \quad (6)$$

а разность

$$P_{31} - P_{32} = v_1 W_1(v_1) + m p_1(v_1) - [v_2 W_2(v_2) + (m_1 - m_2) p_2(v_2)]. \quad (7)$$

Представив в последнем выражении $W_2(v)$ в виде суммы

$$W_2(v) = W_1(v) + \Delta W(v), \quad (8)$$

находим

$$P_{31} - P_{32} = v_1 W_1(v_1) + m p_1(v_1) - [v_2 W_1(v_2) + v_2 \Delta W(v_2) + m_2 p_2(v_2)]. \quad (9)$$

На основании (9) и (2) разность мощности потерь энергии

$$\Delta p = P_{31} - P_{32} - [v_1 W_1(v_1) - v_2 W_1(v_2)]. \quad (10)$$

Анализируя выражения (4) и (9), можно убедиться, что формулы (3) и (10) дают один и тот же результат. При использовании выражения (3) для определения величины Δp необходимо располагать данными о мощности потерь в двигателе [$p_1(v)$, $p_2(v)$ и $p_{\text{мх}}(v)$]. Выражение (10) применимо, если известны зависимости к. п. д. от скорости движения [$\eta_1(v)$ и $\eta_2(v)$].

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

При решении задачи рассматриваемыми способами выводы о целесообразности отключения части тяговых двигателей базируются, как уже отмечалось, на анализе зависимости разности мощности потерь от скорости движения $\Delta p^*(v)$ [18]. Между тем, предпочтительнее анализ зависимости Δp^* от уклона, то есть $\Delta p^*(i)$, дополненной графиками $v_1(i)$ и $v_2(i)$. Такое представление результатов решения задачи позволяет определить для заданного участка (уклона) не только разность мощности потерь, но и степень изменения скорости движения при отключении части тяговых двигателей.

Рассмотрим пример, когда требуется определить разность мощности потерь энергии при вождении поездов с массой состава 1 400 т одной и двумя секциями электровоза серии ВЛ10.

Будем исходить из того, что при работе одной секцией применяется вторая ступень ослабления возбуждения (ОВ2), а при работе двумя секциями – режим полного возбуждения (ПВ). Этому случаю соответствуют расположенные близко тяговые характеристики $F_{к8}(v)$ и $F_{к4}(v)$, показанные на рис. 3.

На тяговых характеристиках для сравниваемых вариантов кружками отмечены установившиеся скорости движения поезда, соответствующие ряду заданных значений уклонов пути i (значения уклонов i выбраны ради упрощения расчета так, чтобы им при работе двумя секциями соответствовали значения установившейся скорости движения 60, 65, 70 и 80 км/ч). Произведение координат каждой из указанных точек представляет механическую мощность электровоза.

Например, уклону $i = 1,93\text{‰}$ соответствуют:

$$v_1 = 70 \text{ км/ч}; F_{к8} = 118,7 \text{ кН};$$

$$v_2 = 67,8 \text{ км/ч}; F_{к4} = 117,72 \text{ кН}.$$

Зависимости мощности потерь и к. п. д. от скорости движения для $m = 8$ и $m = 4$ приведены на рис. 4 и 5. При расчете указанных зависимостей потери определялись по результатам квалификационных испытаний тягового двигателя типа ТЛ-2К [19], а потери в тяговой передаче – согласно рекомендациям ГОСТ 2582-72.

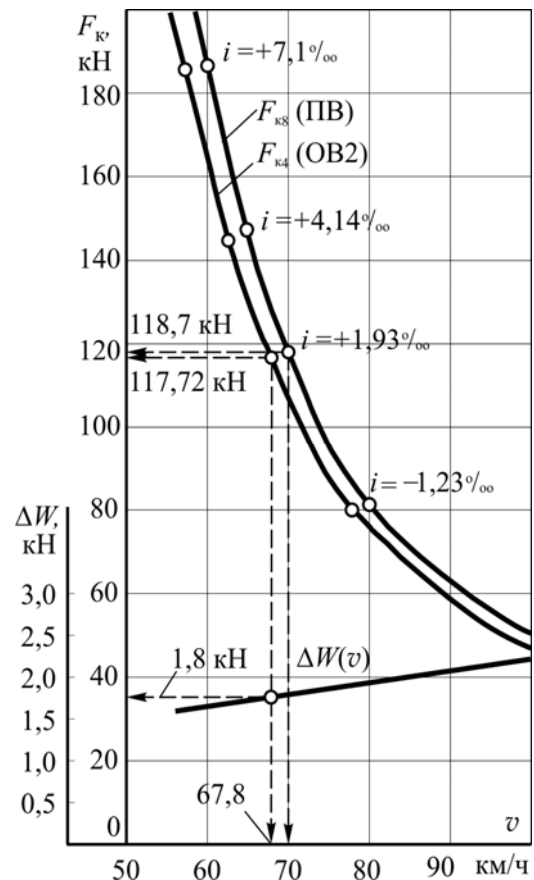


Рис. 3

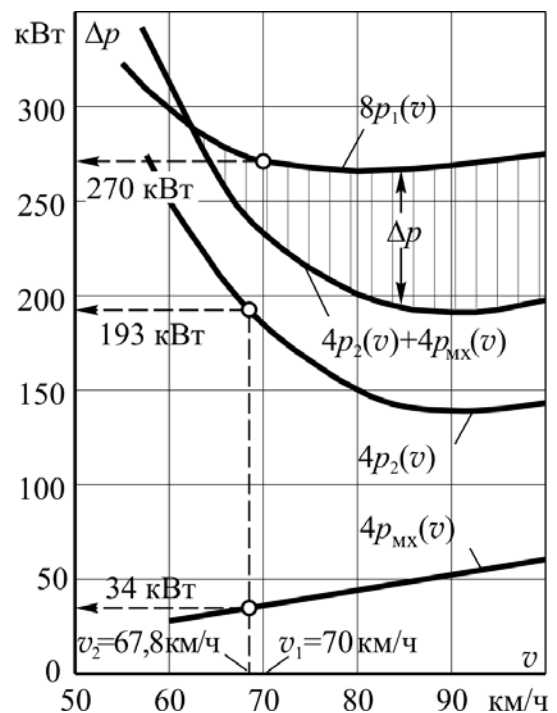


Рис. 4

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Из рис. 4 находим:

$$8p_1(v=70)=270 \text{ кВт};$$

$$4p_2(v=67,8)=193 \text{ кВт};$$

$$4p_{\text{мх}}(v=67,8)=34 \text{ кВт}.$$

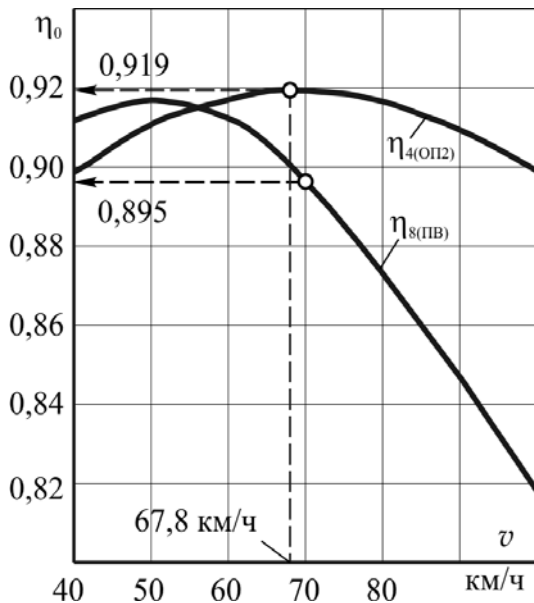


Рис. 5

Механическая мощность:

$$P_{\text{мх8}} = \frac{F_1 v_1}{3,6} = \frac{118,7 \cdot 70}{3,6} = 2308 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{мх4}} = \frac{F_2 v_2}{3,6} = \frac{117,72 \cdot 67,8}{3,6} = 2217 \text{ кВт}.$$

Мощность, потребляемая из сети:

$$P_{\text{э8}} = P_{\text{мх8}} + 8p_1(v_1) = 2308 + 270 = 2578 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{э4}} = P_{\text{мх4}} + 4p_2(v_2) = 2217 + 193 = 2410 \text{ кВт}.$$

Разность мощности потерь в абсолютных и относительных единицах:

$$\Delta p = 270 - 193 - 34 = 43 \text{ кВт};$$

$$\Delta p^* = \frac{43}{2578} 100 = 1,67 \text{ \%}.$$

Теперь определим разность Δp , используя данные о к. п. д. двигателя.

По данным рис. 5 находим:

$$\eta_8(v_1 = 70 \text{ км/ч}) = 0,895;$$

$$\eta_4(v_2 = 67,8 \text{ км/ч}) = 0,919.$$

Полная мощность:

$$P_{\text{э8}} = \frac{P_{\text{мх8}}}{\eta_8} = \frac{2308}{0,895} = 2579 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{э4}} = \frac{P_{\text{мх4}}}{\eta_4} = \frac{2217}{0,919} = 2412 \text{ кВт}.$$

Согласно графику $\Delta W(v)$, приведенному на рис. 2, имеем

$$\Delta W(v_2 = 67,8 \text{ км/ч}) = 1,80 \text{ кН}.$$

На основании (8)

$$\Delta W(v) = W_2(v) - W_1(v),$$

$$\text{поэтому } W_1(v_2) = W_2(v_2) - \Delta W(v_2).$$

Так как $W_2(v_2) = F_{\text{к4}}$, то

$$W_1(v_2 = 67,8 \text{ км/ч}) = 117,72 - 1,80 = 115,92 \text{ кН}.$$

Снижение мощности потерь энергии согласно (10) составит

$$\Delta p = 2579 - 2412 - \left(2308 - \frac{115,92 \cdot 67,8}{3,6} \right) = 42 \text{ кВт},$$

что практически совпадает с ранее полученным результатом.

Результаты

На рис. 6 показаны построенные по данным выполненных выше расчетов графики зависимостей $\Delta p^*(i)$, $v_{8(\text{ПВ})}(i)$ и $v_{4(\text{ОВ2})}(i)$. Они позволяют оценить степень изменения установившейся скорости движения и мощности потерь энергии при отключении части тяговых двигателей и заданной величине уклона i . Так в рассмотренном случае работа одной секцией обуславливает некоторое снижение установившейся скорости движения и снижение мощности потерь энергии при скоростях движения $v > 65 \text{ км/ч}$.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

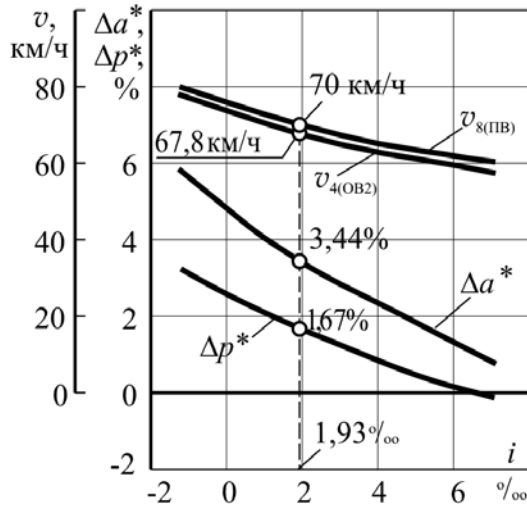


Рис. 6

Научная новизна и практическая значимость

Не отрицая полезности расчетов, методика которых изложена выше, следует иметь в виду, что в общем случае мощность потерь энергии или к. п. д. не определяют однозначно расход электроэнергии на тягу, поэтому выводы в отношении расхода электроэнергии, основанные на сравнении мощности потерь энергии или к. п. д., могут оказаться неточными или даже ошибочными.

В самом деле, расход электроэнергии на тягу можно представить как [4]

$$A = \frac{1}{\eta(s)} \int_{s_n}^{s_k} F_k(s) ds,$$

где s_n , s_k – координаты пути, соответствующие началу и концу участка; F_k – сила тяги электровоза на ободу колес; η – к. п. д. электровоза без учета расхода электроэнергии на питание цепей собственных нужд.

Сила тяги, необходимая для реализации заданного режима движения $v(s)$, определяется как [16]

$$F_k = m_n \left[\frac{1+\gamma}{\xi} \frac{v dv}{ds} + w_k(s, v) \right],$$

где m_n – масса поезда; $1+\gamma$ – коэффициент инерции вращающихся частей поезда; ξ – размерный коэффициент, зависящий от исполь-

зуемых единиц измерения физических величин; w_k – удельное сопротивление движению поезда.

Приведенные выражения показывают, что данные о значении к. п. д. или потерь мощности не позволяют сделать однозначный вывод в отношении экономичности в пользу того или иного режима нагружения тягового средства. Исключение составляют только случаи, когда в сравниваемых вариантах реализуются идентичные режимы движения поезда $v(s)$, что в реальных условиях для электровозов с дискретным регулированием мощности тяги практически всегда недостижимо (как в рассмотренном выше примере с электровозом серии ВЛ10).

К сказанному следует добавить, что при таком подходе к решению задачи затруднен учет изменения затрат энергии на питание цепей собственных нужд.

Чтобы обойти указанные выше затруднения и получить корректное суждение о целесообразности частичного отключения тяговых двигателей, методика решения задачи должна базироваться не на сравнении к. п. д. или разности мощности потерь энергии Δp^* , а на оценке разности расхода электроэнергии для сравниваемых вариантов

$$\Delta a^* = 100 \frac{a_1 - a_2}{a_1}, \quad (11)$$

где a_1 и a_2 – удельный (отнесенный к 1 т·км или 1 поезд-км перевозочной работы) расход электроэнергии на тягу на данном участке.

Можно показать, что:

$$a_1 = \frac{10^3 P_{\Sigma 1}}{(m_3 + m_c) v_1};$$

$$a_2 = \frac{10^3 P_{\Sigma 2}}{(m_3 + m_c) v_2}, \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{т} \cdot \text{км}} \quad (12)$$

где m_c – масса состава, т.

Относительная величина снижения расхода электроэнергии на тягу независимо от протяженности участка составляет

$$\Delta a^* = 100 \left(1 - \frac{P_{\Sigma 1}}{P_{\Sigma 2}} \cdot \frac{v_2}{v_1} \right), \% \quad (13)$$

Для рассмотренного выше численного примера получим:

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

$$a_1 = \frac{2\,579 \cdot 10^3}{(1\,400 + 184) \cdot 70} = 23,26 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{т} \cdot \text{км}};$$

$$a_2 = \frac{2\,412 \cdot 10^3}{(1\,400 + 184) \cdot 67,8} = 22,46 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{т} \cdot \text{км}}.$$

Снижение расхода электроэнергии по формуле (11)

$$\Delta a^* = 100 \frac{23,26 - 22,46}{23,26} = 3,44 \%$$

или по формуле (13)

$$\Delta a^* = 100 \left(1 - \frac{70}{2\,579} \cdot \frac{2\,412}{67,8} \right) = 3,44 \%.$$

Отметим, что при использовании формул (12) и (13) легко учесть возможное изменение затрат энергии на собственные нужды. Для этого достаточно соответствующим образом увеличить значения мощности P_{31} и P_{32} .

Выводы

Выполнив подобные расчеты для ряда значений уклона, можно получить зависимость $\Delta a^*(i)$. Для рассмотренного выше примера график такой зависимости приведен на рис. 6. Он позволяет определить экономию электроэнергии как в относительных, так и в абсолютных величинах и установить условия (скорость движения и уклон пути), при которых экономия имеет место. Так, в рассмотренном случае, как следует из графиков рис. 6, отключение четырех двигателей электровоза серии ВЛ10 в диапазоне изменения скорости движения 60...80 км/ч за счет снижения потерь в тяговых двигателях обеспечивает экономию электроэнергии в пределах 1...5 %, причем более заметная экономия соответствует работе на более легких элементах профиля.

В заключение подчеркнем, что вопрос о целесообразности частичного отключения тяговых двигателей всегда следует разделять на две части – исследовательскую и организационную: сначала необходимо установить возможность экономии электроэнергии, а затем с учетом конкретных условий вождения поездов принять решение об использовании этого способа. Изложенная в настоящей статье методика

позволяет решить первую часть обсуждаемого вопроса. Причем расчетная экономия электроэнергии нуждается в подтверждении опытными поездками, поскольку метод ее расчета базируется на ряде допущений. Последние наряду с упрощением решения задачи могут приводить к некоторому искажению результатов (допущения о постоянстве питающего напряжения, неучет разброса характеристик тяговых двигателей и диаметров движущих колес, разброса значений удельного сопротивления движению и некоторые другие), влияние которых не изучено.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ затрат электроэнергии на тягу электровазов со схемой дистанционного отключения части двигателей / Г. Я. Классен, Р. Я. Медлин, С. М. Рождественский, Ю. А. Усманов // Сб. науч. тр. ОМИИТа. – Омск, 1974. – Вып. 163. – С. 45–50.
2. Варламов, А. А. Частичное отключение тяговых двигателей на электровазах переменного тока / А. А. Варламов, Н. Г. Тарасов // Электрическая и тепловозная тяга. – 1969. – № 12. – С. 8–9.
3. Гетьман, Г. К. О расчетном определении экономии электроэнергии при частичном отключении тяговых двигателей электроподвижного состава / Г. К. Гетьман, В. Е. Васильев // Заліз. трансп. України. – 2011. – № 4. – С. 51–54.
4. Гетьман, Г. К. Теория электрической тяги : монография : в 2 т. / Г. К. Гетьман – Д. : Изд-во Маковецкий, 2011. – Т. 2. – 363 с.
5. Гетьман, Г. К., Анализ расхода электроэнергии на тягу карьерных поездов / Г. К. Гетьман, В. Е. Васильев // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 36. – С. 70–74.
6. Закорюкин, В. Л. Авторегулирование мощности электровазов ВЛ22М при двойной тяге / В. Л. Закорюкин, В. И. Гончаров // Электрическая и тепловозная тяга. – 1969. – № 7. – С. 21–23.
7. И все же двигатели отключать не следует / П. И. Борцов, З. Н. Дубровский, А. С. Курбасов, Х. Я. Быстрицкий // Электрическая и тепловозная тяга. – 1978. – № 10. – С. 35–37.
8. Красовський, П. Ю. Складові втрати електроенергії в елементах систем електропостачання / П. Ю. Красовський // Вісн. Дніпро-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

- петр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 27. – С. 77–80.
9. Кузнецов, В. Г. Дослідження впливу показників транспортного потоку на втрати електроенергії в тяговій мережі / В. Г. Кузнецов, О. М. Полях, А. О. Полях // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 36. – С. 84–88.
 10. Кузнецов, В. Г. Нормування витрат електроенергії на власні потреби постів секціонування та пунктів паралельного з'єднання постійного струму / В. Г. Кузнецов, М. О. Іванов, О. О. Матусевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 25. – С. 30–33.
 11. Кулиш, В. Ф. О частичном отключении тяговых двигателей / В. Ф. Кулиш // Электрическая и тепловозная тяга. – 1977. – № 2. – С. 44.
 12. Легостаев, В. А. Экономия электрической энергии на электроподвижном составе / В. А. Легостаев. – М.: Транспорт, 1956. – 34 с.
 13. Логвінова, Н. О. Зменшення експлуатаційних витрат за допомогою енергооптимального руху поїздів / Н. О. Логвінова, Д. О. Босий, О. М. Полях // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 110–113.
 14. Медлин, Р. Я. Экономия энергии при отключении части тяговых двигателей на электровозах постоянного тока и методика ее определения / Р. Я. Медлин, С. М. Рождественский, Ю. А. Усманов // Сб. науч. тр. ОМИИТа. – Омск, 1974. – Вып. 163. – С. 33–44.
 15. Некрасов, О. А. О расчетном определении эффективности средств экономии энергии при электрической тяге / О. А. Некрасов, В. И. Рахманинов // Тр. ВНИИЖТа. – М., 1977. – Вып. 578. – С. 57–74.
 16. Саблин, О. И. Рациональное регулирование установленной мощности тягового средства в процессе движения / О. И. Саблин, О. И. Бондарь // Электрификация трансп. – 2011. – № 2. – С. 68–71.
 17. Технический отчет ВЭЛНИИ № ЭМ-3-74. Типовые испытания тягового двигателя ТЛ-2К. – Новочеркасск: Типография НЭВЗ, 1974. – 36 с.
 18. Dalla Chiara, B. Sostenibilita energetica dei trasporti: analisi dei consumi e della soluzione ferroviaria / B. Dalla Chiara, R. Ricagno, M. Santarelli // Ingegneria ferroviaria. – 2008. – № 6. – P. 531–543.
 19. Muller, A. Energieeinkauf und -bereitstellung der Deutschen Bahn AG jetzt aus einer Hand / A. Muller // Die Eisenbahntechnik. – 2001. – № 3. – P. 121.
 20. Netz, M. Technische Assistenzsysteme der Deutschen Bahn unterstützen Energie sparendes Fahren / M. Netz // Eisenbahntechnische Rundschau. – 2005. – № 10. – P. 595–598.
 21. Niessen, M. Elektrischer Betrieb bei der Deutschen Bahn im Jahre 1996 / M. Niessen, J. Schaarschmidt // Elek. Bahnen. – 1997 – № 1–2. – P. 3–11.

Г. К. ГЕТЬМАН¹, В. Є. ВАСИЛЬЄВ^{1*}

^{1*}Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта wasiljew@ukr.net

¹Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта getman-gk@i.ua

ЩЕ РАЗ ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ТЯГУ ЗА РАХУНОК ЧАСТКОВОГО ВІДКЛЮЧЕННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Мета. Відомі методи визначення економії електроенергії за рахунок відключення частини тягових двигунів, що базуються на порівнянні їх к. к. д. або потужності втрат енергії, у загальному випадку не дозволяють отримати об'єктивну оцінку корисності даного заходу, а в певних випадках призводять до помилкових результатів і похибок. Необхідний пошук нових, досконаліших методів визначення економії електроенергії при частковому відключенні тягових двигунів. **Методика.** Запропоновано метод розрахункового визначення економії електроенергії при частковому відключенні тягових двигунів, що базується на використанні показника раціональності режиму навантаження витрати електроенергії на вимірник перевізної роботи. **Результати.** Наведено математичні вирази, за якими можливо визначити економію електроенергії як у відносних, так і в абсолютних величинах і встановити умови (швидкість руху

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

і ухил колії), за яких наявна економія. **Наукова новизна.** Запропонована методика вирішення задачі, яка базується не на порівнянні к. к. д. або різниці потужності втрат енергії, а на оцінці різниці витрати електроенергії для порівнюваних варіантів. **Практична значимість.** Наведена методика дозволяє отримати точніші висновки відносно витрати електроенергії, оскільки порівняння потужності втрат енергії або к. к. д. не визначають однозначно витрату електроенергії на тягу, тому висновки, що базуються на порівнянні потужності втрат енергії або к. к. д., можуть виявитися неточними й навіть хибними.

Ключові слова: витрата електроенергії; тяга поїздів; електрична тяга; відключення частини тягових двигунів

G. K. GETMAN¹, V. YE. VASILIEV^{1*}

^{1*}Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazarian St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail wasiljew@ukr.net

¹Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazarian St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail getman-gk@i.ua

ONCE AGAIN ABOUT DETERMINATION OF SAVING OF ENERGY FOR TRACTION DUE TO PARTIAL CUT-OFF OF TRACTION ENGINES OF ELECTRIC ROLLING STOCK

Purpose. In general the well known methods for determination of energy saving due to the partial traction engines cut-off based on their comparison to efficiency coefficient or to the power of energy losses do not allow objective estimation of efficiency of these measures and in a number of cases result in erroneous results and errors. The search for new more advanced methods for determination of energy saving at the partial cut-off of the traction engines is needed. **Methodology.** The method of calculation determination of energy saving when partial cutting-off of the traction engines is offered. It is based on the use of rationality coefficient as the loading mode of the electric power consumption for the measuring instrument of transportation activity. **Findings.** Using the given mathematical expressions it is possible to determine the energy saving in both the relative and absolute values and set the terms (motion speed and route gradient), under which the energy saving will take place. **Originality.** The method of the task solving, which is based on the evaluation of energy consumption differences for the compared variants (not on the comparison of efficiency coefficient or differences of power of energy losses) is offered. **Practical value.** The given methodology allows obtaining more exact conclusions in relation to the electric power consumption, as the comparison of energy losses power or the efficiency coefficient does not determine precisely the electric power consumption for traction. Therefore the conclusions based on the comparison of power of energy losses or efficiency coefficient can appear inexact.

Keywords: electric power consumption; train traction; electric traction; cut-off of the part of traction engines

REFERENCES

1. Klassen G.Ya., Medlin R.Ya., Rozhdestvenskiy S.M., Usmanov Yu.A. Analiz zatrat elektroenergii na tyagu elektrovozami so skhemoy distantsionnogo otklyucheniya chasti dvigateley [Analysis of the energy consumption for traction of electric locomotives with the scheme of remote cut-off of the part of engines]. *Sbornik nauchnykh trudov OMIITa* [Proc. of Omsk Institute of Railway Engineers], 1974, issue 163, pp. 45-50.
2. Varlamov A.A., Tarasov N.G. Chastichnoye otklyucheniye tyagovykh dvigateley na elektrovozakh peremennogo toka. *Elektricheskaya i teplovoznaya tyaga – Electric and diesel traction*, 1969, no. 12, pp. 8-9.
3. Getman G.K., Vasilyev V.Ye. O raschetnom opredelenii ekonomii elektroenergii pri chastichnom otklyuchenii tyagovykh dvigateley elektropodvizhnogo sostava [On the determination of the effectiveness of the calculated energy savings for electric traction]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2011, no. 4, pp. 51-54.
4. Getman G.K. *Teoriya elektricheskoy tyagi: v 2 t.* [Theory of electric traction in 2 vol.]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2011. 363 p.
5. Getman G.K., Vasilyev V.Ye. Analiz raskhoda elektroenergii na tyagu karyernykh poyezdov [Analysis of the energy consumption for the traction of trains]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 36, pp. 70-74.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

6. Zakoryukin V.L., Goncharov V.I. Avtoregulirovaniye moshchnosti elektrovoza VL22M pri dvoynoy tyage [Automatic control of the power of electric locomotive VL22M with double-heading]. *Elektricheskaya i teplovoznaya tyaga – Electric and diesel traction*, 1969, no. 7, pp. 21-23.
7. Bortsov P.I., Dubrovskiy Z.N., Kurbasov A.S., Bystritskiy Kh.Ya. I vse zhe dvigateli otklyuchat ne sleduyet [And still you should not cut-off the engines]. *Elektricheskaya i teplovoznaya tyaga – Electric and diesel traction*, 1978, no. 10, pp. 35-37.
8. Krasovskiy P.Yu. Skladovi vtrat elektroenerhii v elementakh system elektropostachannia [Components of the power losses in the elements of power supply systems]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 27, pp. 77-80.
9. Kuznetsov V.H., Poliakh O.M., Poliakh A.O. Doslidzhennia vplyvu pokaznykiv transportnoho potoku na vtraty elektroenerhii v tiahovii merezhi [The influence of traffic flow values on the energy losses in the traction network]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 36, pp. 84-88.
10. Kuznetsov V.H., Ivanov M.O., Matusyevych O.O. Normuvannia vytrat elektroenerhii na vlasni potreby postiv sektiionuvannia ta punktiv paralelnoho ziednannia postiinoho strumu [Rationing of electric energy consumption for the own needs of sectioning points and the points of parallel connection of DC]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 25, pp. 30-33.
11. Kulish V.F. O chastichnom otklyuchenii tyagovykh dvigateley [About partial cut-off of the traction engines]. *Elektricheskaya i teplovoznaya tyaga – Electric and diesel traction*, 1977, no. 2, p. 44.
12. Legostayev V.A. *Ekonomiya elektricheskoy energii na elektropodvizhnom sostave* [Electric energy saving on the electric rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1956. 34 p.
13. Lohvinova N.O., Bosyi D.O., Poliakh O.M. Zmenshennia ekspluatatsiinykh vytrat za dopomohoiu enerhooptrymalnoho rukhu poizdiv [Reducing of operating costs using the energy-optimal train movement]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 110-113.
14. Medlin R.Ya., Rozhdestvenskiy S.M., Usmanov Yu.A. Ekonomiya energii pri otklyuchenii chasti tyagovykh dvigateley na elektrovozakh postoyannogo toka i metodika yeye opredeleniya [Energy saving when cutting-off the part of traction engines on the electric locomotives of DC and the methodology of energy saving determination]. *Sbornik nauchnykh trudov OMIITa* [Proc. of Omsk Institute of Transport Engineers], 1974, issue 163, pp. 33-44.
15. Nekrasov O.A., Rakhmaninov V.I. O raschetnom opredelenii effektivnosti sredstv ekonomii energii pri elektricheskoy tyage [On the effectiveness determination of the measures of energy savings for electric traction]. *Trudy VNIIZhTa* [Proc. of VNIIZhT], 1977, issue 578, pp. 57-74.
16. Sablin O.I., Bondar O.I. Ratsionalnoye regulirovaniye ustanovlennoy moshchnosti tyagovogo sredstva v protsesse dvizheniya [Sound management of the set capacity of the traction plant in the process of motion]. *Elektrifikatsiya transportu – Transport electrification*, 2011, no. 2, pp. 68-71.
17. *Tekhnicheskii otchet VEINII № EM-3-74. Tipovyye ispytaniya tyagovogo dvigatelya TL-2K* [Technical report no. EM-3-74. Standard tests of traction engine TL-2K]. Novocherkassk, Tipografiya NEVZ Publ., 1974. 36 p.
18. Dalla Chiara B., Ricagno R., Santarelli M. Sostenibilita energetica dei trasporti: analisi dei consumi e della soluzione ferroviaria. *Ingegneria ferroviaria*, 2008, no. 6, pp. 531-543.
19. Muller A. Energieeinkauf und -bereitstellung der Deutschen Bahn AG jetzt aus einer Hand. *Die Eisenbahntechnik*, 2001, no. 3, pp. 121.
20. Netz M. Technische Assistenzsysteme der Deutschen Bahn unterstützen Energie sparendes Fahren. *Eisenbahn-technische Rundschau*, 2005, no. 10, pp. 595-598.
21. Niessen M., Schaarschmidt J. Elektrischer Betrieb bei der Deutschen Bahn im Jahre 1996. *Elektrische Bahnen*, 1997, no. 1-2, pp. 3-11.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Г. Сыченко (Украина); д.т.н., проф. В. Т. Заикой (Украина)

Поступила в редколлегию 04.09.2013

Принята к печати 19.09.2013

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

УДК 629.4.015 : 625.1.03–047.58

Н. В. ХАЛІПОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Транспортні системи та технології», Академія митної служби України, вул. Дзержинського, 2/4,
Дніпропетровськ, Україна, 49000, тел. +38 (056) 469 598, ел. пошта khalipov@rambler.ru

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ ТА РУХОМОГО СКЛАДУ

Мета. Моделювання взаємодії елементів системи «екіпаж–колія» потребує врахування різних за змістом критеріїв, а також аналізу впливу багатьох чинників та фактора невизначеності й випадковості на основні показники задля забезпечення оптимальних або ж раціональних параметрів роботи системи. Для дослідження процесу взаємодії необхідні нові теоретичні підходи до формулювання задач, що базуються на узагальненні існуючих підходів до моделювання. Метою цієї роботи є розвиток моделі взаємодії колії та рухомого складу на основі застосування множинної структури об'єктів. **Методика.** Виділено та сформовано основні критерії оцінки розв'язків задачі оптимізації динамічної взаємодії колії та рухомого складу – забезпечення якості та безпеки здійснення процесу перевезень, підвищення їх ефективності та зниження собівартості. На основі використання методів векторної оптимізації запропоновано модель системи взаємодіючих елементів рухомого складу та колії. Для синтезу моделі застосовано математичний апарат з множинної структури об'єктів. **Результати.** Узагальнено підходи до моделювання в задачах взаємодії рухомого складу та колії для різних конструктивних елементів системи за різних умов експлуатації. Цей теоретичний підхід продемонстровано на прикладах моделювання взаємодії пасажирського та вантажного вагонів із колією за різних експлуатаційних умов. **Наукова новизна.** Запропонований теоретичний підхід до розв'язання задачі взаємодії колії та рухомого складу, що базується на синтезі існуючих моделей шляхом застосування множинної структури об'єктів. **Практична значимість.** Використання запропонованої моделі дає можливість структурувати основні дані та показники в ході моделювання процесів взаємодії рухомого складу та колії, формувати оптимальні та раціональні параметри функціонування системи та визначати ефективні експлуатаційні параметри й систему заходів щодо раціонального використання інфраструктури.

Ключові слова: моделювання системи «екіпаж–колія»; оптимальні й раціональні параметри взаємодії; теорія множин; векторна оптимізація; множинна структура об'єктів

Вступ

Активне впровадження в Україні Загальної транспортної політики з метою інтеграції до мережі міжнародних транспортних коридорів визначило формування сучасних вимог до транспортних систем, які зумовлені необхідністю підвищення швидкості руху із забезпеченням при цьому високих стандартів якості та безпеки перевезень пасажирів та вантажів.

Збільшення швидкості руху поїздів на певних напрямках вносить зміни в умови експлуатації та взаємодії рухомого складу й колії та

потребує вирішення важливих питань, пов'язаних з нормами їх утримання, оскільки виникають додаткові динамічні навантаження. Закордонні та вітчизняні учені у сфері взаємодії рухомого складу та колії приділяють увагу питанням наукового обґрунтування критеріїв для оцінки динамічних властивостей екіпажів, плавності та безпеки руху, комфортабельності їзди і формування норм утримання колії та рухомого складу в процесі їх експлуатації та на основі наукового аналізу встановлення допустимих швидкостей руху поїздів.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Головні нормативи базуються на експериментальних і теоретичних дослідженнях взаємодії рухомого складу та залізничної колії вченими та фахівцями України, країн СНД та закордонних країн.

Питанням вписування екіпажів у кривих ділянках колії, визначення горизонтальних поперечних сил взаємодії, розрахунку сил інерції при взаємодії колеса та рейки присвячені роботи А. А. Холодецького, К. Ю. Цеглинського, С. П. Тимошенка, Н. П. Петрова, С. М. Куценка, О. П. Єршкова та інших. Подальшого розвитку ці методи набули в працях В. Б. Медея, В. А. Лазаряна та його учнів Є. П. Блохіна, В. Д. Дановича, М. Л. Коротенка, Н. О. Радченка, В. Ф. Ушкалова.

Значний внесок у питання розробки просторової розрахункової схеми для вивчення коливань вагонів, моделі рейко-шпальної решітки внесли Є. П. Блохін, М. Ф. Веріго, В. К. Гарг, В. Д. Данович, А. Я. Коган, М. Л. Коротенко, В. А. Лазарян, А. А. Львов, Н. О. Радченко, Ю. С. Ромен, В. Ф. Ушкалов, В. Д. Хусідов та ін.

Експлуатаційний досвід і теоретичні дослідження дозволили розробити серію критеріїв, що характеризують плавність руху, комфортабельність їзди, міцність колії та її елементів, умови можливого вкочування гребеня колеса на рейку. Докладно існуючі критерії на закордонних залізницях та залізницях СНД проаналізував О. П. Єршков.

У працях В. А. Лазаряна, А. А. Босова, Г. В. Ельфимова, Г. М. Шахунянца та інших вчених детально розглянуті питання улаштування сполучень кривих, у тому числі перехідних. В. І. Андрієнком, В. Г. Альбрехтом, Ю. Д. Волошком, Н. І. Карпущенком, В. Н. Понирко, В. В. Рибкіним, В. Г. Юнкевичем, М. А. Фрішманом показано складний характер взаємодії рухомого складу та колії на цих ділянках, вивчалися питання вибору раціональних параметрів перехідних кривих, взаємодії колії та рухомого складу в перехідних кривих з розбіжностями відводів кривизни та підвищення зовнішньої рейки.

Питання, пов'язані з обґрунтуванням рівня допустимих швидкостей руху по сполученнях кривих, досліджувалися у ВНІЖТі, НІЖТі, ХІТі, ДІТі, КІТі, ЛІЖТі. Питанням підбору відповідних параметрів кривої для раціональної роботи колії, вишукуванню резервів для підви-

щення швидкостей присвячено роботи О. П. Єршкова, М. І. Карпущенко, В. Я. Карцева, М. Б. Кургана, А. М. Орловського, В. О. Певзнера, Ю. С. Ромена, В. В. Циганенка та ін.

Фахівці України, країн СНД та закордонні автори у своїх експериментальних та теоретичних дослідженнях велику увагу приділяють задачам моделювання роботи рейко-шпальної решітки, вивченню коливань вагонів, визначенню допустимих швидкостей руху поїздів. Сучасні погляди на проблеми взаємодії рухомого складу та колії з узагальненням наукових результатів викладено в працях М. Ф. Веріго та А. Я. Когана [3].

Теоретичні та експериментальні дослідження минулих років дозволили розробити нормативи утримання колії та рухомого складу залізниць у процесі їх експлуатації та серію критеріїв, що характеризують плавність руху, комфортабельність їзди, міцність колії та її елементів, умови можливого вкочування гребеня колеса на рейку та ін. Головні нормативи базуються на дослідженні взаємодії рухомого складу та залізничної колії як єдиної системи [6, 7, 10].

Мета

Необхідність врахування декількох різних за своїм змістом критеріїв, забезпечення оптимальних або ж раціональних параметрів шляхом визначення ефективної системи утримання інфраструктури, вплив багатьох чинників на основні показники, фактора невизначеності та випадковості на досліджувані процеси взаємодії потребують нових теоретичних підходів до формулювання задач. Для розв'язання задач, пов'язаних із взаємодією елементів складної системи «екіпаж–колія», необхідне узагальнення підходів до моделювання. У роботі [2] запропоновано математичний підхід до дослідження на основі множинної структури. Метою Цієї роботи є розвиток моделі взаємодії колії та рухомого складу на основі застосування множинної структури об'єктів.

Методика

Теоретичні основи та напрямки застосування методів векторної оптимізації наведено в [2].

Задачу векторної оптимізації можна сформулювати таким чином. Нехай будь-яка множина $E \in \mathcal{R}(\Omega)$ оцінюється за допомогою декі-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

лькох показників $F_1(E), F_2(E), \dots, F_k(E)$, кожний з яких бажано отримати якомога меншим. Вважаємо, що « E_1 краще за E_2 », якщо

$$\left. \begin{aligned} F_1(E_1) &\leq F_1(E_2), \\ F_2(E_1) &\leq F_2(E_2), \\ &\dots \\ F_k(E_1) &\leq F_k(E_2), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

при цьому серед нерівностей є хоча б одна строга.

Згідно з (1) визначають правило відбору (критерій) «кращих» множин. Це правило відоме як відношення Парето [15].

Відношення (1) можуть бути подані у вигляді

$$\begin{pmatrix} F_1(E) \\ F_2(E) \\ \dots \\ F_k(E) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (2)$$

при $E \in \mathfrak{R}(\Omega)$, де $\mathfrak{R}(\Omega)$ – область визначення функцій множин $F_i(E)$, $i = \overline{1, k}$.

Визначення 1. Дві множини E_1 та $E_2 \in \mathfrak{R}(\Omega)$ називають непорівнянними, якщо серед нерівностей (1) наявна хоча б одна строга протилежна нерівність.

Згідно з (2) оцінка множини $E \in \mathfrak{R}(\Omega)$ здійснюється за допомогою вектора $F(E)$, компонентами якого є показники $F_i(E)$, $i = \overline{1, k}$. Тому задача відбору за допомогою правила (1) називається задачею векторної оптимізації.

Визначення 2. Множина $E \in \mathfrak{R}(\Omega)$ називається ефективною, якщо будь-яка її варіація призводить до «погіршення» одного з показників та «збільшення» деякого іншого показника.

Визначення 3. Множину $\varepsilon \in \mathfrak{R}(\Omega)$ називають розв'язком задачі векторної оптимізації (2), якщо будь-які дві множини E_1 та E_2 з ε є непорівнянними, а $\forall A \in \varepsilon$ ефективним.

На непорівнянні варіанти може бути накладено обмеження типу

$$\forall E \in \varepsilon \rightarrow E \in D(\Omega) \subseteq \mathfrak{R}(\Omega), \quad (3)$$

де $D(\Omega)$ – набір допустимих множин з $\mathfrak{R}(\Omega)$.

Співвідношення (3) являє собою ще одне правило відбору й тоді задача векторної оптимізації має два критерії, тобто правила відбору (1) та (2). Тому її називають двокритеріальною задачею векторної оптимізації.

Під час відбору варіантів розв'язання серед непорівнянних між собою точок з ε , тобто із області ефективних рішень, задача векторної оптимізації розв'язку не дає. Який з варіантів обрати, вирішує особа, що приймає рішення. Це зумовлено надзвичайною складністю більшості з розв'язуваних на практиці задач, зокрема і взаємодії колії та рухомого складу. Під час побудови моделі необхідно враховувати безліч обмежень на конструктивні параметри (накладаються як на рухомий склад, так і на колію), нормативних допусків при експлуатації, технологічних параметрів тощо. Усі ці умови надто складно забезпечити одночасно в процесі моделювання. Модель векторної оптимізації насамперед дозволяє відсіяти неефективні варіанти.

Сформуємо основні критерії оцінки розв'язків, що отримуються в процесі вирішення задачі динамічної взаємодії колії та рухомого складу. Перш за все це критерій оцінки якості перевезень, пов'язаний із коливаннями екіпажа в результаті збурень з боку верхньої будови колії. Це обмеження стосується мінімізації динамічних прискорень α . При пасажирських перевезеннях це забезпечує комфортабельність їзди; при вантажних завдяки відповідним динамічним властивостям екіпажа гарантує збереження вантажів та безпеку руху.

Другий критерій пов'язаний із забезпеченням безпеки процесу перевезень. Задачу вирішуємо при максимізації стійкості екіпажа k .

Третій критерій мінімізує час (T) перевезень.

Четвертий критерій (Φ) характеризує ефективність перевезень, тобто забезпечення максимального прибутку від перевезень.

Мінімізація за п'ятим критерієм (C) пов'язана із максимальним зниженням собівартості перевезень.

Таким чином, задача векторної оптимізації набуває вигляду:

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ -k \\ T \\ -\Phi \\ C \end{pmatrix} \rightarrow \min. \quad (4)$$

Для оцінки за цими критеріями існує система показників та нормативів, які допомагають чисельно оцінити кожний варіант та прийняти щодо нього рішення. Так, оцінка динамічних властивостей може бути за показниками вертикальної чи горизонтальної динаміки або ж за непогашеними прискореннями при проходженні кривих ділянок.

Стійкість може характеризувати умови безпеки за можливого вкочування гребеня колеса на головку рейки або ж стійкість від перекидання та ін.

Досить часто час доставки пасажирів або вантажів є пріоритетним серед критеріїв, особливо в умовах впровадження прискореного руху.

Критерій ефективності Φ треба розглядати як потік витрат (капітальних та експлуатаційних) та прибутків за періодами, приведений до певного розрахункового періоду, та оцінювати на основі показників ефективності (чистої поточної вартості, внутрішньої норми прибутковості та ін.).

Показник для оцінки собівартості перевезень C залежить від багатьох факторів, починаючи від умов перевезень та закінчуючи тарифами.

Для забезпечення цих вимог (4) модель взаємодії колії та рухомого складу (« $K-PC$ ») подамо як множинний об'єкт Ω_{K-PC} , який характеризується гібридною суперпозицією (структурою), складеною із множин, мультимножин, упорядкованих множин (списків) і неоднорідних множин (послідовностей, кортежів).

Під множиною розуміють вільний набір різних однотипних елементів. Елементи в наборі вільні в тому розумінні, що в множину вони входять у довільному порядку. Змінюючи властивості набору й елементів множинної структури, одержимо інші об'єкти. Якщо в множині зняти обмеження за різними елементами, то одержимо мультимножину. Невільний однотипний набір різних елементів за деяким відношенням утворить упорядкована множина

(облікова множина), у випадку повторюваності елементів у наборі маємо мультисписок. Якщо набір різнотипний, то відповідно він утворить неоднорідну впорядковану або неупорядковану послідовність або кортежі, мультикортеж – упорядкований або неупорядкований. Таким чином, розглянуті об'єкти задаються на єдиній множинній структурі Ω_{K-PC} за допомогою відношень: тотожності, порядку, неоднорідності та ін. Формально ця структура може бути записана так:

$$\Omega_{K-PC} = \{N, \Sigma, \Lambda\}, \quad (5)$$

де $N = \Omega \cup F$ – носій структури, на компоненті Ω якого будуються множинні об'єкти та $F = (\{\}, [\], \langle \rangle, (), [[]])$ – алфавіт спеціальних символів; Σ – сигнатура відношень $\varphi_i, i = \overline{1, 4}$ і операції суперпозиції ψ ; Λ – конструктивна аксіоматика, що задає визначення, властивості, правила конструювання об'єктів та ін.

Розглянемо склад аксіоматики Λ множинної структури Ω_{K-PC} .

Для базисних об'єктів:

- компонента носія $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \Omega_3 \cup \dots \cup \Omega_n$ неоднорідна;
- $\Omega_i, i = \overline{1, n}$ однорідні (однотипні);
- $\# \Omega_i$ – потужність змісту підкомпоненти;
- якщо $\# \Omega_i = 0$, то підкомпонента порожня, і позначається як $\Omega_i = o$;
- елемент $\omega \in \Omega$, якщо $\exists \Omega_i \subset \Omega, \omega \in \Omega_i$;
- будь-який елемент $\omega \in \Omega$ неподільний (атомарний).

Для розпізнавання об'єктів і відбиття відношень на них використовуємо позначення: $\{\}$ – множина, $[\]$ – упорядкована множина, $[[\]]$ – неоднорідна множина, $\langle \rangle$ – мультимножина.

Докладний опис систем за допомогою скінченних множин і відношень виконано в роботі [17], а структур – у статті [1].

Наведемо задачу взаємодії колії та рухомого складу як мультимножину задач Ω_{K-PC} . Структура побудована на основі аналізу задач, описаних в [9, 11, 12, 14, 16]. Ця мультимножина може доповнюватися в разі розширення класу

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

об'єктів, що підлягають моделюванню. Мультимножина $\Omega_{\text{К-РС}}$ умовно представлена наборами Ω_i :

$$\Omega_{\text{К-РС}} = [\Omega_i, i = \overline{1, n}],$$

де Ω_1 – множина задач, яка характеризує рухомий склад; Ω_2 – множина задач, яка характеризує колію; Ω_3 – множина задач, яка характеризує взаємодію елементів системи «колія–екіпаж» під час руху рухомого складу за умов (1).

Множина Ω_1 має таку структуру:

$$\Omega_1 = \left\langle \left\{ \omega_{1,i_1}, i_1 = \overline{1, n_1} \right\}, \left\{ \omega_{2,i_2}, i_2 = \overline{1, n_2} \right\}, \left[\left[\omega_{3,i_3}, i_3 = \overline{1, n_3} \right], \left\{ \omega_{4,i_4}, i_4 = \overline{1, n_4} \right\} \right], \left[\omega_{5,i_5}, i_5 = \overline{1, n_5} \right] \right\rangle,$$

де $\omega_{1,i_1}, i_1 = \overline{1, n_1}$ – тип вагона (пасажирський на візках КВЗ ЦНИИ, вантажний – критий, піввагон, хопер, цистерна, довгобазний вагон); $\omega_{2,i_2}, i_2 = \overline{1, n_2}$ – стан завантаження вагона (завантажений або порожній); $\omega_{3,i_3}, i_3 = \overline{1, n_3}$ – конструктивні параметри (моменти інерції кузова, надресорних балок, колісних пар, профіль коліс), характеристики пружно-в'язких елементів, конструктивна швидкість екіпажа та ін.; $\omega_{4,i_4}, i_4 = \overline{1, n_4}$ – стан рухомого складу (зношення елементів, динамічні властивості); $\omega_{5,i_5}, i_5 = \overline{1, n_5}$ – список заходів для приведення рухомого складу в дієздатний стан в межах експлуатаційних допусків.

Структура множини Ω_2 така:

$$\Omega_2 = \left\langle \left[\left[\omega_{6,j_1}, j_1 = \overline{1, m_1} \right] \right], \left[\left[\omega_{7,j_2}, j_2 = \overline{1, m_2} \right] \right], \left\{ \omega_{8,j_3}, j_3 = \overline{1, m_3} \right\}, \left[\omega_{9,j_4}, j_4 = \overline{1, m_4} \right] \right\rangle,$$

де $\omega_{6,j_1}, j_1 = \overline{1, m_1}$ – характеристика конструктивних елементів верхньої будови колії (рейки – ланкова, безстикова; шпали – дерев'яні, залізобетонні; скріплення – КБ, КПП; баласт – щебеневий, піщаний, гравійний); $\omega_{7,j_2}, j_2 = \overline{1, m_2}$ – характеристики основних елементів колії (при-

ведені маси, пружність, моменти інерції); $\omega_{8,j_3}, j_3 = \overline{1, m_3}$ – стан колії (жорсткість, пружність, зношеність елементів); $\omega_{9,j_4}, j_4 = \overline{1, m_4}$ – комплекс заходів для підтримання працездатності колії в межах експлуатаційних допусків (за напрацюванням відповідно до стану: рихтування, стабілізація, заміна елементів, поточний ремонт, капітальний ремонт).

Множину Ω_3 подаємо у вигляді:

$$\Omega_3 = \left\langle \left\{ \omega_{10,k_1}, k_1 = \overline{1, l_1} \right\}, \left\{ \omega_{11,k_2}, k_2 = \overline{1, l_2} \right\}, \left\{ \omega_{12,k_3}, k_3 = \overline{1, l_3} \right\}, \left[\omega_{13,k_4}, k_4 = \overline{1, l_4} \right] \right\rangle,$$

де $\omega_{10,k_1}, k_1 = \overline{1, l_1}$ – характеристика ділянки колії (пряма, кругова крива, вхідна перехідна крива, вихідна перехідна крива, стрілочний перевід);

$\omega_{11,k_2}, k_2 = \overline{1, l_2}$ – стан колії (відхилення за рівнем, у плані, розбіжності відводів кривизни та підвищення в перехідних кривих, нерівножорсткість, зношеність елементів, наявність випадкових нерівностей різного ступеня);

$\omega_{12,k_3}, k_3 = \overline{1, l_3}$ – комплекс заходів для покращення динамічних показників взаємодії (зміна довжини перехідної кривої, узгодження відводів кривизни та підвищення зовнішньої рейки, зміна довжини кругової кривої, кривизна кругової кривої, підвищення зовнішньої рейки кругової кривої, ліквідація нерівностей);

$\omega_{13,k_4}, k_4 = \overline{1, l_4}$ – комплекс заходів для підтримання працездатності колії в межах експлуатаційних допусків без зміни параметрів (рихтування, стабілізація, заміна елементів, поточний ремонт, капітальний ремонт тощо).

Кожна мультимножина містить список необхідних заходів $[\omega_{i,j}]$, які дозволяють управляти критеріями (4).

Список необхідних заходів, що входять до множини Ω_i , формують залежно від змісту завдання.

Ефективність моделі залежить від постановки та розв'язання задач, які кількісно та якісно характеризують кожний з елементів всієї системи. Склад кожної множини формується для певних варіантів, які аналізуються.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Приклад 1. Розглянемо результати моделювання взаємодії пасажирського вагона на візках КВЗ ЦНИИ при проходженні кривих ділянок колії змінної кривизни з відступами в утриманні за розбіжностями відводів кривизни та підвищення зовнішньої рейки [11, 16].

Варіюванню підлягають такі параметри: кривизна кругової кривої, підвищення зовнішньої рейки в кривій, довжина перехідної кривої, величина розбіжностей відводів кривизни та підвищення зовнішньої рейки (при лінійному відводі).

Модель має такий склад:

$\Omega_{\text{К-РС}} = \left[\left\{ \text{пасажирський суцільнометале-} \right. \right. \\ \left. \left. \text{вий вагон на візках КВЗ ЦНИИ} \right\}, \left\{ \text{заванта-} \right. \right. \\ \left. \left. \text{жений} \right\}, \left\{ \text{геометричні, пружно-дисипативні} \right. \right. \\ \left. \left. \text{та інерційні характеристики завантаженого па-} \right. \right. \\ \left. \left. \text{сажирського вагона: маса кузова } 43,53 \text{ т, моменти} \right. \right. \\ \left. \left. \text{інерції кузова вагона: } I_x = 74,2 \text{ т}\cdot\text{м}^2, I_y = 2\,066 \text{ т}\cdot\text{м}^2, \right. \right. \\ \left. \left. I_z = 2\,055 \text{ т}\cdot\text{м}^2; \text{ маса візка } 7 \text{ т, маса рами візка} \right. \right. \\ \left. \left. 2,66 \text{ т, моменти інерції рами візка: } I_x = 0,68 \text{ т}\cdot\text{м}^2, \right. \right. \\ \left. \left. I_y = 2,37 \text{ т}\cdot\text{м}^2, I_z = 2,98 \text{ т}\cdot\text{м}^2; \text{ маса колісної пари} \right. \right. \\ \left. \left. 1,78 \text{ т, моменти інерції колісної пари: } I_x = 1 \text{ т}\cdot\text{м}^2, \right. \right. \\ \left. \left. I_y = 0,15 \text{ т}\cdot\text{м}^2, I_z = 1 \text{ т}\cdot\text{м}^2 \text{ та ін.} \right\}, \left\{ \text{стан вагона} \right. \right. \\ \left. \left. \text{відповідає нормам експлуатації} \right\}, \left[\text{ не потре-} \right. \right. \\ \left. \left. \text{бує ремонту} \right] \right], \left[\left[\text{стикова колія, шпали залі-} \right. \right. \\ \left. \left. \text{зобетонні, баласт щебеневий} \right] \right], \left[\left[\text{приведена} \right. \right. \\ \left. \left. \text{маса колії в горизонтальному напрямку } 0,3 \text{ кг/см,} \right. \right. \\ \left. \left. \text{приведена маса колії у вертикальному напрям-} \right. \right. \\ \left. \left. \text{ку } 1,3 \text{ кг/см, горизонтальна жорсткість колії} \right. \right. \\ \left. \left. 30\,000 \text{ кН/м, вертикальна жорсткість колії} \right. \right. \\ \left. \left. 30\,000 \text{ кН/м, коефіцієнт в'язкого тертя в гори-} \right. \right. \\ \left. \left. \text{зонтальному напрямку } 200 \text{ кНс/м, коефіцієнт} \right. \right. \\ \left. \left. \text{в'язкого тертя у вертикальному напрямку} \right. \right. \\ \left. \left. 200 \text{ кНс/м, та ін.} \right] \right], \left\{ \text{стан колії за напрацю-} \right. \\ \left. \left. \text{ванням та станом елементів відповідає нор-} \right. \right. \\ \left. \left. \text{мам} \right\}, \left[\text{ не потребує ремонту} \right] \right], \left\{ \text{радіус} \right. \\ \left. \left. \text{кругової кривої } 300 \text{ м, підвищення зовнішньої} \right. \right. \\ \left. \left. \text{рейки } 150 \text{ мм, вхідна перехідна крива довжи-} \right. \right. \\ \left. \left. \text{ною } 150 \text{ м} \right\}, \left\{ \text{розбіжності відводів кривизни} \right. \\ \left. \left. \text{та підвищення зовнішньої рейки на початку} \right. \right. \\ \left. \left. \text{перехідної кривої складає } 60 \text{ м з випереджен-} \right. \right. \\ \left. \left. \text{ням відводу кривизни} \right\}, \left\{ \text{узгодження відво-} \right.$

дів кривизни та підвищення зовнішньої рейки, зміна радіусу кругової кривої $\}, [\text{потребує усунення наднормативної розбіжності відводів кривизни та підвищення}] \rangle \rangle$.

Приймаємо систему критеріїв

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ -k \end{pmatrix} \rightarrow \min. \quad (5)$$

Критерій якості α оцінюватимемо за показниками коефіцієнтів вертикальної динаміки в центральному ступені (нормативне значення $[k_b] \leq 0,2$) та горизонтальної динаміки (нормативне значення $[k_r] \leq 0,25$) і за непогашеним прискоренням α . Безпеку оцінюватимемо за коефіцієнтом стійкості проти вкочування гребеня колеса на рейку (нормативне значення $[k_{\text{ст}}] \geq 1,8$) [13].

Швидкість приймаємо з умови забезпечення значення непогашеного прискорення $\alpha = 0,7 \text{ м/с}^2$, що відповідає максимальному значенню, визначеному нормативами за комфортабельністю їзди. Згідно з нормативами утримання колії [8] розбіжності відводів кривизни та підвищення не повинні перевищувати 30 м.

У результаті моделювання, враховуючи вимоги (5) та обмеження на досліджувані параметри, отримуємо такі значення показників: $k_b = 0,28$, $k_{\text{ст}} = 1,7$, що не відповідає вимогам нормативів; $k_r = 0,21$, що не порушує нормативів.

Збільшуємо радіус кругової кривої до 1 000 м. Моделювання дає такі значення – $k_b = 0,38$; $k_{\text{ст}} = 4,3$, $k_r = 0,16$, що відповідає вимогам за стійкістю та горизонтальною динамікою і порушує нормативи за вертикальною динамікою.

Зменшуємо розбіжності відводів кривизни та підвищення до 30 м. Для кривої радіусом 300 м в результаті моделювання отримуємо $k_b = 0,23$; $k_{\text{ст}} = 1,9$; $k_r = 0,21$, що відповідає нормативним вимогам. Для кривої радіусом 1 000 м в результаті моделювання отримуємо $k_b = 0,22$; $k_{\text{ст}} = 4,3$; $k_r = 0,15$, що відповідає нормативним вимогам.

Отримані в результаті моделювання варіанти є розв'язками багатокритеріальної задачі.

Ефективність варіанта залежить від витрат, пов'язаних із заходами з узгодження відводів

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

кривизни та підвищення зовнішньої рейки в перехідній кривій. Чим більше ресурсів необхідно для приведення колії до задовільного стану, тим гіршим є цей показник.

Систему критеріїв (5) доповнимо третім критерієм, пов'язаним із витратами на усунення розбіжностей відводів кривизни та підвищення зовнішньої рейки в перехідній кривій:

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ -k \\ -\Phi \end{pmatrix} \rightarrow \min. \quad (6)$$

Усунення цих відступів приведе до покращення показників якості та безпеки, у той час як витрати зростають, внаслідок чого погіршується показник ефективності. Тобто введення критерію ефективності дає можливість відсіяти неефективні варіанти та звузити область прийнятних рішень.

Наприклад, нехай розбіжності відводів кривизни та підвищення зовнішньої рейки не перевищують 30 м, що відповідає нормативним значенням. Усунення цих розбіжностей, наприклад, для кривої радіусом 1 000 м призводить до покращення показників якості та безпеки ($k_v = 0,2$; $k_{ct} = 5,0$; $k_r = 0,13$). При цьому за показником ефективності отримуємо погіршення через витрати на виправку. Тобто рішення в цьому випадку є ефективним та непорівнянним за даними критеріями. Такий варіант (з розбіжностями до 30 м) є розв'язком задачі векторної оптимізації.

Приклад 2. Розглянемо результати моделювання взаємодії пасажирського вагона і колії на різних етапах ремонтних робіт [14, 16]. У цьому випадку критерії мають забезпечувати якість та безпеку перевезень на різних етапах ремонтних робіт та ефективність заходів під час їх здійснення. Система обмежень має вигляд (6).

При цьому критерії якості та безпеки оцінюватимемо за показниками коефіцієнтів, як і в прикладі 1. Параметри пасажирського вагона та колії також приймаємо за прикладом 1.

Нерівності колії формуються на кожному з етапів ремонтних робіт за [15].

Модель має такий склад:

$\Omega_{\text{К-РС}} = [\langle \{ \text{пасажирський вагон на візках КВЗ ЦНИИ} \}, \langle \{ \text{завантажений} \}, \{ \text{дані до}$

розрахунку пасажирського вагона \rangle, \{ \text{стан вагона відповідає нормам експлуатації} \rangle], [\text{не потребує ремонту} \rangle], \langle [\text{стикова колія, шпали залізобетонні, баласт щебеневий} \rangle], [\text{дані до розрахунку колії} \rangle], \{ \text{стан колії на різних етапах ремонтних робіт: 1 – після виправки та однієї стабілізації колії динамічним стабілізатором; 2 – після повторної виправки та двох стабілізацій; 3 – після пропуску 1 млн т, суцільної післясадової виправки та третьої стабілізації колії} \rangle, [\text{перша стабілізація, друга стабілізація, пропуск 1 млн т вантажів та третя стабілізація} \rangle], \langle \{ \text{кругова крива радіусом 1 000 м} \}, \{ \text{вертикальні динамічні нерівності, що відповідають еквівалентним динамічним нерівностям на різних етапах ремонтних робіт; нерівності в плані 5 та 10 мм} \rangle, \{ \text{зміна швидкості руху, зміна підвищення, зміна непогашеного прискорення} \rangle, [\text{ремонт колії на довгостроково закритому перегоні} \rangle].

Моделювання показало, що ефективні рішення для першого етапу ремонтних робіт містяться в такій області:

- а) при величині нерівності в плані 5 мм:
 - непогашене прискорення знаходиться в діапазоні 0,3...0,50 м/с²;
 - підвищення зовнішньої рейки лежить в діапазоні 70...105 мм;
 - допустима швидкість 110 км/год.
- б) при величині нерівності в плані 10 мм:
 - непогашене прискорення знаходиться в діапазоні 0,36...0,56 м/с²;
 - підвищення зовнішньої рейки лежить в діапазоні 0...30 мм;
 - допустима швидкість 85 км/год.

Ефективні рішення для другого етапу ремонтних робіт містяться в такій області:

- а) при величині нерівності в плані 5 мм:
 - непогашене прискорення знаходиться в діапазоні 0,2...0,56 м/с²;
 - підвищення зовнішньої рейки лежить в діапазоні 90...130 мм;
 - допустима швидкість 120 км/год.
- б) при величині нерівності в плані 10 мм:
 - непогашене прискорення знаходиться в діапазоні 0,42...0,62 м/с²;

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

– підвищення зовнішньої рейки лежить у діапазоні 0...35 мм;

– допустима швидкість 90 км/год.

Для третього етапу ремонтних робіт ефективні рішення містяться в такій області:

а) при величині нерівності в плані 5 мм:

– непогашене прискорення знаходиться у діапазоні 0,38...0,60 м/с²;

– підвищення зовнішньої рейки лежить у діапазоні 115...150 мм;

– допустима швидкість 130 км/год;

б) при величині нерівності в плані 10 мм:

– непогашене прискорення знаходиться в діапазоні 0,39...0,69 м/с²;

– підвищення зовнішньої рейки лежить у діапазоні 0...50 мм;

– допустима швидкість 95 км/год.

З результатів моделювання бачимо, що після кожного з етапів робіт показники покращуються, про що свідчить можливість збільшення допустимих швидкостей руху після реалізації певного комплексу робіт. У той самий час, від етапу до етапу збільшуються витрати, що знижує показник ефективності.

Приклад 3. Розглянемо результати моделювання взаємодії вантажного вагона в порожньому стані при проходженні ділянок колії різної кривизни [9].

Сформуємо систему критеріїв. Для порожніх вагонів найбільш вагомим є критерій безпеки, який характеризує запас стійкості від вколювання гребеня колеса на головку рейки ($k_{ст}$) та час дії сил, при яких порушується нормативне значення $[k_{ст}]$ [4]. Згідно з [13] для порожнього вантажного вагона значення $k_{ст}$ має бути не менше 1,3. Другий критерій характеризує час доставки та залежить насамперед від швидкості руху. Приймаємо такі обмеження:

$$\begin{pmatrix} -k \\ T \end{pmatrix} \rightarrow \min. \quad (7)$$

Модель має таку структуру:

$\Omega_{K-PC} = \{ \langle \{ \text{вантажний піввагон моделі 12-4004 на візках ЦНИИ-ХЗ} \rangle, \langle \{ \text{порожній} \rangle, \{ \text{дані до розрахунку вантажного вагона – довжина бази 15,69 м, маса 30 т, моменти інерції кузова вагона } (I_x=53,1 \text{ т}\cdot\text{м}^2; I_y=1\,001,64 \text{ т}\cdot\text{м}^2;$

$I_z=925,44 \text{ т}\cdot\text{м}^2) \text{ та ін.} \rangle, \{ \text{стан вагона відповідає нормам експлуатації} \rangle \}, [\text{не потребує ремонту}] \rangle, \langle [\text{стикова колія, шпали залізобетонні, баласт щебеневий}] \rangle, [\text{дані до розрахунку колії}] \rangle, \{ \text{стан колії відповідає нормам утримання в процесі експлуатації} \rangle, [\text{не потребує ремонту}] \rangle, \langle \{ \text{пряма ділянка} \rangle, \{ \text{наявність випадкових нерівностей у колії в межах нормативів} \rangle, \{ \text{зміна швидкості руху} \rangle, [\text{не потребує ремонту}] \rangle \}.$

У розрахунках при моделюванні приймаємо швидкість руху рухомого складу 50, 70 та 90 км/год. Отримано такі результати:

1. При швидкості руху 50 км/год $k_{ст} = 1,6$, що відповідає нормативним вимогам.

2. При швидкості руху 70 та 90 км/год $k_{ст}$ становить 1,1 та 0,25 відповідно, що порушує нормативні вимоги. Час можливого вколювання гребеня колеса на головку рейки складає 0,15 та 0,27 с відповідно.

За результатами моделювання отримуємо множину ефективних рішень для показників при реалізації швидкості руху екіпажа до 60 км/год.

Таким чином, для цього виду рухомого складу за заданих умов, збільшуючи швидкість у межах до 60 км/год, маємо покращення за другим критерієм (зменшення часу доставки T), водночас за першим критерієм (безпека перевезень) значення коефіцієнта стійкості погіршується та нарешті виходить за межі нормативу.

Тобто розв'язок, отриманий при швидкості руху 60 км/год, є розв'язком задачі векторної оптимізації. Особа, що приймає рішення, виходить з аналізу часу дії рамних сил.

Результати

У роботі узагальнено підходи до моделювання в задачах взаємодії рухомого складу та колії для різних конструктивних елементів системи за різних умов експлуатації. Цей теоретичний підхід продемонстровано на прикладах моделювання взаємодії пасажирського та вантажного вагонів із колією за різних експлуатаційних умов.

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано теоретичний підхід до розв'язання задачі взаємодії колії та рухомого складу, що базується на синтезі існуючих моделей шляхом застосування множинної структури об'єктів.

Використання запропонованої моделі дає можливість структурувати основні дані й показники під час моделювання процесів взаємодії рухомого складу та колії та формувати оптимальні та раціональні параметри функціонування системи, визначати ефективні експлуатаційні параметри та систему заходів щодо раціонального використання інфраструктури.

Висновки

1. Теоретичний підхід до моделювання системи «екіпаж–колія» базується на математичному апараті векторної оптимізації. Цей підхід дозволяє узагальнити підходи до моделювання взаємодії колії та рухомого складу на основі застосування множинної структури об'єктів.

2. Сформовано основні критерії оцінки розв'язків задачі оптимізації динамічної взаємодії колії та рухомого складу – забезпечення якості та безпеки здійснення процесу перевезень, підвищення їх ефективності та зниження собівартості, скорочення часу доставки.

3. Використання запропонованої моделі дає можливість структурувати основні дані й показники при моделюванні процесів взаємодії рухомого складу та колії та формувати оптимальні та раціональні параметри функціонування системи, визначати ефективні експлуатаційні параметри та систему заходів щодо раціонального використання інфраструктури.

4. Модель взаємодії колії та рухомого складу подано як мультимножину задач. Склад кожної множини формується для певних варіантів, які аналізуються, та може доповнюватися в разі розширення класу об'єктів, що підлягають моделюванню. Ефективність моделі залежить від постановки та розв'язання задач, які кількісно та якісно характеризують кожний з елементів всієї системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Босов, А. А. Структурна складність систем / А. А. Босов, В. М. Ільман // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 173–179.
2. Босов, А. А. Функції множин та їх застосування : монографія / А. А. Босов // Дніпро-дзержинськ : Вид. дім «Андрій», 2007. – 182 с.
3. Вериги, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериги, А. Я. Коган ; под ред. М. Ф. Вериги. – М. : Транспорт, 1986. – 559 с.
4. Вершинский, С. В. Динамика вагонов / С. В. Вершинский, В. И. Данилов, В. Д. Хусидов. – М. : Транспорт, 1991. – 360 с.
5. Влияние параметров колеи в переходных кривых на динамику и комфортабельность езды / В. В. Рыбкин, В. В. Цыганенко, М. И. Уманов, Н. В. Халипова // Залізн. трансп. України. – 2002. – № 5. – С. 25–27.
6. Данович, В. Д. Математическая модель взаимодействия пути и пассажирского вагона при движении по участкам произвольной кривизны / В. Д. Данович, А. Г. Рейдемейстер, Н. В. Халипова // Трансп. : зб. наук. пр. – Д., 2001. – Вип. 8. – С. 124–138.
7. Данович, В. Д. Уравнения движения железнодорожного экипажа в переходных и круговых кривых / В. Д. Данович, А. Г. Рейдемейстер, Н. В. Халипова // Трансп. : зб. наук. пр. – Д., 2001. – Вип. 10. – С. 86–91.
8. Інструкція по устрою та утриманню колії залізниць України / Е. І. Даниленко, А. М. Орловський, А. П. Татуревич та ін. – К. : Трансп. України, 1999. – 248 с.
9. К вопросу об устойчивости против вкатывания колеса на рельс для порожних грузовых вагонов / В. Д. Данович В. В., Рыбкин, А. П. Трякин и др. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2003. – Вип. 3. – С. 90–95.
10. Коган, А. Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом / А. Я. Коган. – М. : Транспорт, 1997. – 326 с.
11. Колебания пассажирского вагона при входе в переходную кривую / В. Д. Данович, В. В. Цыганенко, А. Г. Рейдемейстер, Н. В. Халипова // Трансп. : зб. наук. пр. – Д., 2002. – Вип. 12. – С. 64–70.
12. Определение допускаемых скоростей движения грузовых вагонов по железнодорожным путям колеи 1520 мм / В. Д. Данович, В. В. Рыбкин, А. П. Трякин и др. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2003. – Вип. 2. – С. 77–86.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

13. РД 24.050.37 – 95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – М. : ГосНИИВ, 1995. – 101 с.
14. Скорости движения в кривых после ремонта / М. И. Уманов, В. В. Цыганенко, Н. В. Халипова и др. // Путь и путевое хоз-во. – 2007. – № 10. – С. 29–30.
15. Теоретические и экспериментальные исследования по установлению допускаемых скоростей движения поездов по участку пути, отремонтированному с применением современных путевых машин / М. И. Уманов, В. В. Цыганенко, Н. В. Халипова и др. // 36. наук. пр. КУЕТТ. Сер. Трансп. системи і технології. – К., 2005. – Вип. 7. – С. 101–107.
16. Установлення допустимих швидкостей руху поїздів по ділянці колії, відремонтованій із застосуванням сучасних колійних машин / М. І. Уманов, В. В. Циганенко, Н. В. Халіпова та ін. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2005. – Вип. 9. – С. 81–87.
17. Atkin, R. H. Mathematical structure in human affairs : monograph / R. H. Atkin. – London : Heinemann, 1974. – 212 p.
18. Kos, Wladyslaw. Krywe przejsciowe z nieliniowym rampami przechylkowym w warunkach eksploatacyjnych PKP / Wladyslaw Kos // Zesz. nauk. Pgdan. Bud. Lad. – 1990. – № 47. – P. 1–129.
19. UIC Code 513 R (1–st edition, 1.7.94). Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles. – Paris : Int. Union of Railways, 1995. – 81 p.

Н. В. ХАЛИПОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Транспортные системы и технологии», Академия таможенной службы Украины, ул. Дзержинского, 2/4, Днепропетровск, Украина, 49000, тел. +38 (056) 469 598, эл. почта khalipov@rambler.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Цель. При моделировании взаимодействия элементов системы «экипаж–путь» необходимо учитывать разные по своему содержанию критерии, а также анализировать влияние многих факторов и фактора неопределенности и случайности на основные показатели для обеспечения оптимальных или же рациональных параметров работы системы. Исследование процесса взаимодействия требует новых теоретических подходов к формулированию задач, основанных на обобщении существующих подходов к моделированию. Цель данной работы – развитие модели взаимодействия пути и подвижного состава на основе применения множественной структуры объектов. **Методика.** Выделены и сформированы основные критерии оценки решений задачи оптимизации динамического взаимодействия пути и подвижного состава – обеспечение качества и безопасности осуществления процесса перевозок, повышение их эффективности и снижение себестоимости. На основе использования методов векторной оптимизации предложена модель системы взаимодействующих элементов подвижного состава и пути. Для синтеза модели применено математический аппарат из множественной структуры объектов. **Результаты.** Обобщены подходы к моделированию системы в задачах взаимодействия подвижного состава и пути для элементов разной конструкции при различных условиях эксплуатации. Данный теоретический подход продемонстрирован на примерах моделирования взаимодействия пассажирского и грузового вагонов и пути при разных эксплуатационных условиях. **Научная новизна.** Предложен теоретический подход к решению задачи взаимодействия пути и подвижного состава, основанный на синтезе существующих моделей путем применения множественной структуры объектов. **Практическая значимость.** Использование предложенной модели дает возможность структурировать основные данные и показатели при моделировании процессов взаимодействия подвижного состава и пути, формировать оптимальные и рациональные параметры функционирования системы, определять эффективные эксплуатационные параметры и систему мероприятий по рациональному использованию инфраструктуры.

Ключевые слова: моделирование системы «экипаж–путь»; оптимальные и рациональные параметры взаимодействия; теория множеств; векторная оптимизация; множественная структура объекта

N. V. KHALIPOVA^{1*}

^{1*}Dep. "Transport Systems and Technologies", Academy of Customs Service of Ukraine, ul. Dzerzhinsky, 2/4,
Dnipropetrovsk, Ukraine, 49000, tel. +38 (056) 469 598, e-mail khalipov@rambler.ru

MODELING OF THE TRACK AND ROLLING STOCK INTERACTION

Purpose. Interaction of system's elements of "carriage-track" modelling requires consideration of various criteria, it also requires analysis of many uncertainty and randomness factors' influence on the basic parameters to ensure optimal or rational parameters of the system. The researching of interactions' process requires new theoretical approaches to formulation of objectives, based on a generalization of existing modeling approaches. The purpose of this work is development of interaction models between track and rolling stock based on multiple structures of objects. **Methodology.** Dedicated and formed the main evaluation criteria of dynamic interaction between track and rolling stock optimization - quality assurance and safety of transportation process, improving of their efficiency and reducing of prime cost's. Based on vector optimization methods, proposed model of rolling stock and track's elements interaction. For the synthesis of the model used mathematical machine of multiple objects structures. **Findings.** Generalized approaches to modeling in the interaction of rolling stock and track for different structural elements of the system under different exploitation conditions. This theoretical approach demonstrated on the examples of modeling of passenger and freight cars with track under different exploitation conditions. **Originality.** Proposed theoretical approach to the problem of track and rolling stock interaction, based on a synthesis of existing models by using of multiple objects structures. **Practical value.** Using of proposed model allows to structure key data and rational parameters of rolling stock and track interaction's modeling and to formulate optimal and rational parameters of the system, to determine the effective exploitation parameters and measurement system for rational use of infrastructure.

Keywords: simulation of "carriage-track" system; optimal and rational parameters of interaction; the multiple objects structure

REFERENCES

1. Bosov A.A., Ilman V.M. Strukturna skladnist system [Structural complexity of systems]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, no. 40, pp. 173-179.
2. Bosov A.A. *Funktsii mnozhyn ta yikh zastosuvannia* [The functions of sets and their applications]. Dniprodzerzhynsk, Vyd. dim «Andrii» Publ., 2007. 182 p.
3. Verigo M.F., Kogan A.Ya. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava* [Track and rolling stock interaction]. Moscow, Transport Publ., 1986. 559 p.
4. Vershinskiy S.V., Danilov V.I., Khusidov V.D. *Dinamika vagonov* [Dynamics of cars]. Moscow, Transport Publ., 1991. 360 p.
5. Rybkin V.V., Tsyganenko V.V., Umanov M.I., Khalipova N.V. Vliyaniye parametrov kolei v perekhodnykh krivykh na dinamiku i komfortabelnost yezdy [Influence of track parameters in transition curves on the dynamics and ride comfort]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2002, no. 5, pp. 25-27.
6. Danovich V.D., Reydeyemyster A.G., Khalipova N.V. Matematicheskaya model vzaimodeystviya puti i passazhirskogo vagona pri dvizhenii po uchastkam proizvolnoy krivizny [A mathematical model of track and carriage interaction under motion on sections of arbitrary curvature]. *Transport* [Transport], 2001, no. 8, pp. 124-138.
7. Danovich V.D., Reydeyemyster A.G., Khalipova N.V. Uravneniya dvizheniya zheleznodorozhnogo ekipazha v perekhodnykh i krugovykh krivykh [The equations of railway carriage motion in the transition and circular curves]. *Transport* [Transport], 2001, no. 10, pp. 86-91.
8. Danylenko E.I., Orlovskiy A.M., Taturevych A.P., Sushkov V.F., Umanov M.I., Tsyganenko V.V., Vorobeychik L.Ya., Patlasov O.M., Rabinovych M.P., Zakapko V.Ya., Buchko V.M., Koidan V.I., Rybachok P.I., Korsun V.P. *Instruktsiia po ustroiu ta utrymanniu kolii zaliznyts Ukrainy* [Instruction on organization and keeping track railways of Ukraine]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 1999. 248 p.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

9. Danovich V.D., Rybkin V.V., Tryakin A.P., Reydeymeyster A.G., Khalipova N.V. K voprosu ob ustoychivosti protiv vkatyvaniya koleasa na rels dlya porozhnykh gruzovykh vagonov [To the question of stability against climb-on of a wheel for empty freight cars]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, no. 3. pp. 90-95.
10. Kogan A.Ya. *Dinamika puti i yego vzaimodeystviye s podvizhnym sostavom* [Track dynamics and its interaction with rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1997. 326 p.
11. Danovich V.D., Tsyganenko V.V., Reydeymeyster A.G., Khalipova N.V. Kolebaniya passazhirskogo vagona pri vkhode v perekhodnuyu krivuyu [Fluctuations of a passenger car at the transition curve entering]. *Transport* [Transport], 2002, no. 12, pp. 64-70.
12. Danovich V.D., Rybkin V.V., Tryakin A.P., Myamlin S.V., Reydeymeyster A.G., Khalipova N.V. Opredeleniye dopuskayemykh skorostey dvizheniya gruzovykh vagonov po zheleznodorozhnym putyam kolei 1520 mm [Maximum permissible velocity test of freight cars on 1520 mm railway tracks]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, no. 2, pp. 77-86.
13. RD 24.050.37 – 95. *Vagony gruzovyye i passazhirskiye. Metody ispytaniy na prochnost i khodovyye kachestva* [Freight and passenger cars. Test methods for strength and riding properties]. Moscow, GosNIIV Publ., 1995. 101 p.
14. Umanov M.I., Tsyganenko V.V., Khalipova N.V., Reydeymeyster A.G., Sysyn N.P., Kurgan D.N. Skorosti dvizheniya v krivykh posle remonta [Velocity in the curves after repair]. *Put i putevoye khozyaystvo – Road and track facilities*, 2007, no. 10, pp. 29-30.
15. Umanov M.I., Tsyganenko V.V., Khalipova N.V., Reydeymeyster A.G., Sysyn N.P., Kovalev V.V. Teoreticheskiye i eksperimentalnyye issledovaniya po ustanovleniyu dopuskayemykh skorostey dvizheniya poyezdov po uchastku puti, otremonirovannomu s primeneniym sovremennykh putevykh mashin [Theoretical and experimental studies to establish the permissible train velocity on the section of a track which was repaired with modern track machines] *Zbirnyk naukovykh prats Kyivskoho universytetu ekonomiky i tekhnolohii transportu: Seriya Transportni systemy i tekhnolohii* [Proc. of State Economy and Technology University of Transport: Series Transportation Systems and Technology], 2005, issue 7, pp. 101-107.
16. Umanov M.I., Tsyhanenko V.V., Khalipova N.V., Reidemeister A.H., Kovalev V.V. Ustanovlennia dopustymykh shvydkostei rukhu poizdiv po diliansi kolii, vidremontovanii iz zastosuvanniam suchasnykh koliinykh mashyn [Setting of permissible trains velocity at the section of a track, renovated with modern track machines] *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2005, no. 9, pp. 81-87.
17. Atkin R.N. *Mathematical structure in human affairs*. London, Heinemann Publ., 1974. 212 p.
18. Kos Wladyslaw. Krywe przejsciove z nieliniowym rampami przechylkowym w warunkach ek-sploatacyjnych PKP. *Zesz. nauk. Pgdan. Bud. Lad.*, 1990, no. 47. pp. 1-129.
19. UIC Code 513 R (1–st edition, 1.7.94). Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles. Paris, International Union of Railways Publ., 1995. 81 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н, проф. А. А. Босовим (Україна); д.т.н., проф. Г. Г. Головіновим (Україна)

Надійшла до редколегії 21.06.2013

Прийнята до друку 02.09.2013

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 669.248.058.7

В. О. ЗАБЛУДОВСЬКИЙ¹, В. В. ДУДКІНА^{1*}, Е. П. ШТАПЕНКО¹

¹Каф. «Фізика», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 23, +38 (056) 373 15 86, ел. пошта shtapenko@rambler.ru

^{1*}Каф. «Фізика», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 23, +38 (056) 373 15 86, ел. пошта dudkina2@ukr.net

ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА СТРУКТУРУ Й МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ НІКЕЛЕВИХ ПОКРИТТІВ

Мета. Дослідження впливу лазерного випромінювання на структуру й механічні властивості електроосаджених композиційних нікелевих покриттів, що містять ультрадисперсні алмази. **Методика.** Електроосадження плівок нікелю здійснювали зі стандартного розчину з додаванням ультрадисперсних алмазів (УДА) на лазерно-електролітичній установці, побудованій на базі газорозрядного CO₂-лазера. Механічні випробування покриттів на зносостійкість виконувалися на машині із зворотно-поступальним рухом зразків в умовах сухого тертя об сталь. Спектральний мікроаналіз елементного складу границі розділу плівка–підкладка здійснювався на растровому електронному мікроскопі РЕММА-102-02. **Результати.** Дослідження нікелевих покриттів, модифікованих ультрадисперсними алмазами й електроосаджених в умовах зовнішньої стимуляції лазерним випромінюванням, показали залежність структури й механічних властивостей композиційних електролітичних покриттів, а також якісного й кількісного розподілу співосадженого наноалмазу від способу електроосадження. **Наукова новизна.** Встановлено вплив лазерного випромінювання на процес співосадження УДА, що підвищує мікротвердість і зносостійкість електролітичних нікелевих покриттів. **Практична значимість.** Лазерно-стимульоване електроосадження композиційних електролітичних нікелевих покриттів є ефективним методом локального підвищення зносостійкості металевих покриттів, що забезпечує довговічність збереження експлуатаційних (функціональних) властивостей поверхні.

Ключові слова: композиційні електролітичні покриття; ультрадисперсні алмази; лазерне випромінювання; структура; механічні властивості

Вступ

Існує безліч способів зміцнення поверхні з метою збільшення ресурсу роботи механізмів, деталей та пар тертя, зокрема хіміко-термічна обробка або різні методи нанесення покриттів. Один з відомих способів покращення механічних властивостей поверхні – її електролітична модифікація осадженням металевої плівки з необхідними експлуатаційними параметрами, найбільш важливими з яких є твердість та зносостійкість. Однак плівки металів і сплавів за

своїми фізико-хімічними властивостями часто не відповідають підвищеним вимогам сучасної техніки. Вирішити проблему зміцнення поверхні можливо за допомогою модифікації металевої матриці частинками дисперсної фази з отриманням композиційних електролітичних покриттів (КЕП). Відомо, що введення твердих дисперсних частинок (ультрадисперсних алмазів (УДА)) в електролітичні покриття підвищує їх мікротвердість і зносостійкість. Причини цього – зменшення розмірів кристалів осаджу-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ваного металу і наявність у покритті надтвердих частинок [1–3, 15].

Аналіз наукових праць [10, 12–16] показав, що методами впливу на процес співосадження металевих плівок з УДА є застосування в процесі електроосадження ультразвукового або механічного перемішування розчину електроліту. Внаслідок такої активації процесу електроосадження тверді дисперсні частинки, які мають масу і швидкість, що зумовлені перемішуванням розчину електроліту, у процесі співосадження забезпечують більшу кількість центрів кристалізації і дрібнозернисту структуру покриттів.

У цій статті розглядається лазерно-стимульований метод електроосадження (ЛСЕО) композиційних нікелевих електролітичних покриттів.

Мета

Мета роботи полягала в дослідженні впливу лазерного випромінювання на структуру й механічні властивості електроосаджених композиційних нікелевих покриттів, що містять ультрадисперсні алмази.

Методика

Для дослідження використовували стандартний сульфатний електроліт такого складу: Ni_2SO_4 – 300 г/л, H_3BO_3 – 30 г/л, Na_2SO_4 – 50 г/л, pH – 5. Концентрацію (n) УДА у водному розчині електроліту змінювали в діапазоні від 2 до 15 г/л. Електроосадження композиційних нікелевих покриттів виконували за потенціостатичного режиму (при постійному заданому значенні катодного потенціалу $E = -1,06$ В) і зовнішнього впливу випромінювання газорозрядного CO_2 -лазера, що генерує в безперервному режимі на довжині хвилі рівній 10,6 мкм при потужності 25 Вт. Для порівняння осадження покриттів також виконували за допомогою постійного струму густиною від 100 до 300 А/м². Характерною властивістю водного розчину електроліту нікелювання є низька седиментаційна стійкість, що призводить до нерівномірного розподілу частинок наноалмазу в металевій матриці. Для вирішення цієї проблеми в процесі електроосадження покриттів за допомогою постійного струму було застосовано механічне перемішування водного розчину

електроліту. Металографічні дослідження виконували за допомогою оптичного мікроскопа МІМ-8М. Мікротвердість покриття вимірювали на мікротвердомірі ПМТ-3. Елементний склад поверхні покриття визначали мікрорентгеноспектральним аналізом за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕММА-102-02 з роздільною здатністю 5 нм. Вміст і розподіл ультрадисперсного алмазу визначали за лініями вуглецю (С) характеристичного рентгенівського випромінювання. Для дослідження фазового складу й структури плівок нікелю використовували рентгенівське обладнання – дифрактометр ДРОН-2.0 із застосуванням сцинтиляційної реєстрації рентгенівських променів. Зйомка на фазовий склад нікелевих плівок здійснювалася в монохроматизованому Cu K_α -випромінюванні. Механічні випробування покриттів на зносостійкість виконувалися на машині із зворотно-поступальним рухом зразків при швидкості 0,32 м/с в умовах сухого тертя об сталь 45 за ДСТУ 1050-74 при навантаженні 177 г за ДСТУ 23.204-78.

Результати

Дослідження зразків нікелевих покриттів, що містять алмази, показали залежність структури осаджуваного покриття від складу електроліту й режиму електроосадження. Під час металографічних досліджень нікелевих покриттів з додаванням УДА, осаджених за допомогою постійного струму без перемішування водного розчину електроліту, спостерігається утворення розвиненого рельєфу із слідами поверхневих дефектів (пітингу) (рис. 1, а; 2, а).

Використання механічного перемішування водного розчину електроліту при незмінних режимах електроосадження й концентрації УДА дозволило отримати композиційні електролітичні нікелеві покриття з меншою кількістю поверхневих дефектів, для яких характерне утворення однорідної і рівномірної по всій поверхні зразка структури (рис. 1, б; 2, б).

При потенціостатичному лазерно-стимульованому режимі осадження композиційних нікелевих покриттів відбувається подрібнення зерен покриття, в області опромінення покриття має зглажену поверхню (рис. 3, а). При переході від зони опромінення до неопромінюваної області зразка шорсткість поверхні збільшується (рис. 3, б).

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

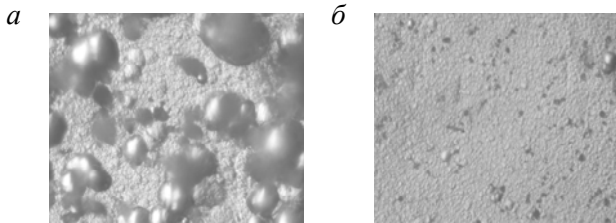


Рис. 1. Морфологія поверхні композиційних електролітичних нікелевих покриттів, осаджених при $j = 100 \text{ А/м}^2$, $n(\text{УДА}) = 2 \text{ г/л}$:
 а – без перемішування розчину;
 б – з перемішуванням розчину ($\times 900$)

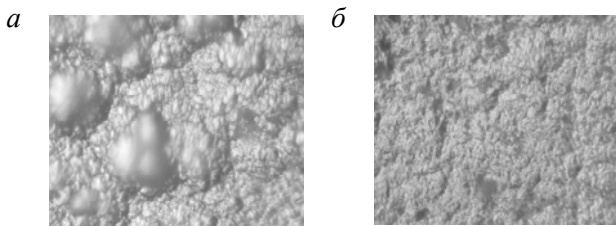


Рис. 2. Морфологія поверхні композиційних електролітичних нікелевих покриттів, осаджених при $j = 300 \text{ А/м}^2$, $n(\text{УДА}) = 15 \text{ г/л}$:
 а – без перемішування розчину;
 б – з перемішуванням розчину ($\times 900$)

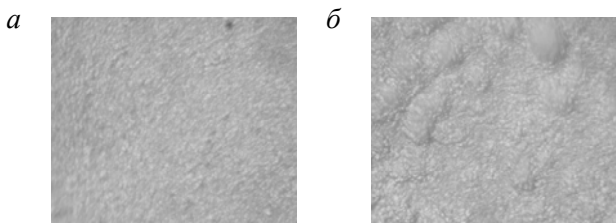


Рис. 3. Морфологія поверхні композиційних електролітичних нікелевих покриттів, осаджених при лазерно-стимульованому режимі, $n(\text{УДА}) = 15 \text{ г/л}$:
 а – у зоні опромінювання;
 б – поза зоною опромінювання ($\times 900$)

На рис. 4, а наведено дифрактограму порошку УДА, на якій наявні дифракційні максимуми алмазної фази вуглецю без домішок. Аналіз рентгенограм композиційних електролітичних нікелевих покриттів (рис. 4, б–д) свідчить про те, що дифракційні максимуми, які відповідають алмазній фазі вуглецю, накладаються на лінії, що відповідають кристалічній фазі електролітичного нікелю, а це ускладнює визначення співвідношення наноалмазу й нікелю в покритті і визначає необхідність досліджень елементного складу. У покриттях з чистого нікелю спостерігається переважна орієнтація кристалітів у напрямку (111) (рис. 4, б)

і формується аксіальна текстура росту із кристалографічними індексами [111]. Уведення УДА не привело до зміни фазового складу КЕП (рис. 4, в–д), але на дифрактограмах спостерігається перерозподіл інтенсивності ліній, що свідчить про формування в покриттях, електроосаджених з водного розчину електроліту за допомогою постійного струму, подвійної аксіальної текстури: [111] + [100] при $n(\text{УДА}) = 2 \text{ г/л}$ (рис. 4, в) і [111] + [110] при $n(\text{УДА}) = 15 \text{ г/л}$ (рис. 4, з). При потенціостатичному лазерно-стимульованому режимі електроосадження в плівках нікелю, що містять ультрадисперсні алмази, формується подвійна аксіальна текстура: [110] + [111] (рис. 4, д).

Металографічні дослідження композиційних нікелевих електролітичних покриттів з додаванням УДА показали, що за відсутності руху частинок УДА, який забезпечується перемішуванням розчину електроліту, структура покриття формується більш крупнокристалічною (рис. 5, а). У результаті перемішування водного розчину електроліту спостерігається зменшення розміру зерна (рис. 5, б), що пояснюється швидшим підведенням іонів до поверхні катода, внаслідок чого утворюється більша кількість центрів кристалізації. При лазерно-стимульованому потенціостатичному режимі електроосадження відбувається збільшення густини струму, значення якого при нормуванні на режим осадження при постійному струмі без лазерного випромінювання відповідає більш від'ємному значенню катодного потенціалу ($E = -1,12 \text{ В}$). Крім того, згідно з роботами [4–9, 11] тверді дисперсні частинки, які перебувають у товщі рідини й мають порівняно з розчином електроліту більший показник заломлення та зміщені щодо світлового пучка, рухаються не тільки в напрямку променя, але також за напрямом до центру променя, де інтенсивність світла є максимальною. Звідси можна зробити висновок, що існує не тільки сила, спрямована вздовж променя, але й поперечна сила, яка спрямовує частинки до центру світлового променя, що пояснює збільшення швидкості зародкоутворення й формування більш дрібнокристалічної структури (рис. 5, в).

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

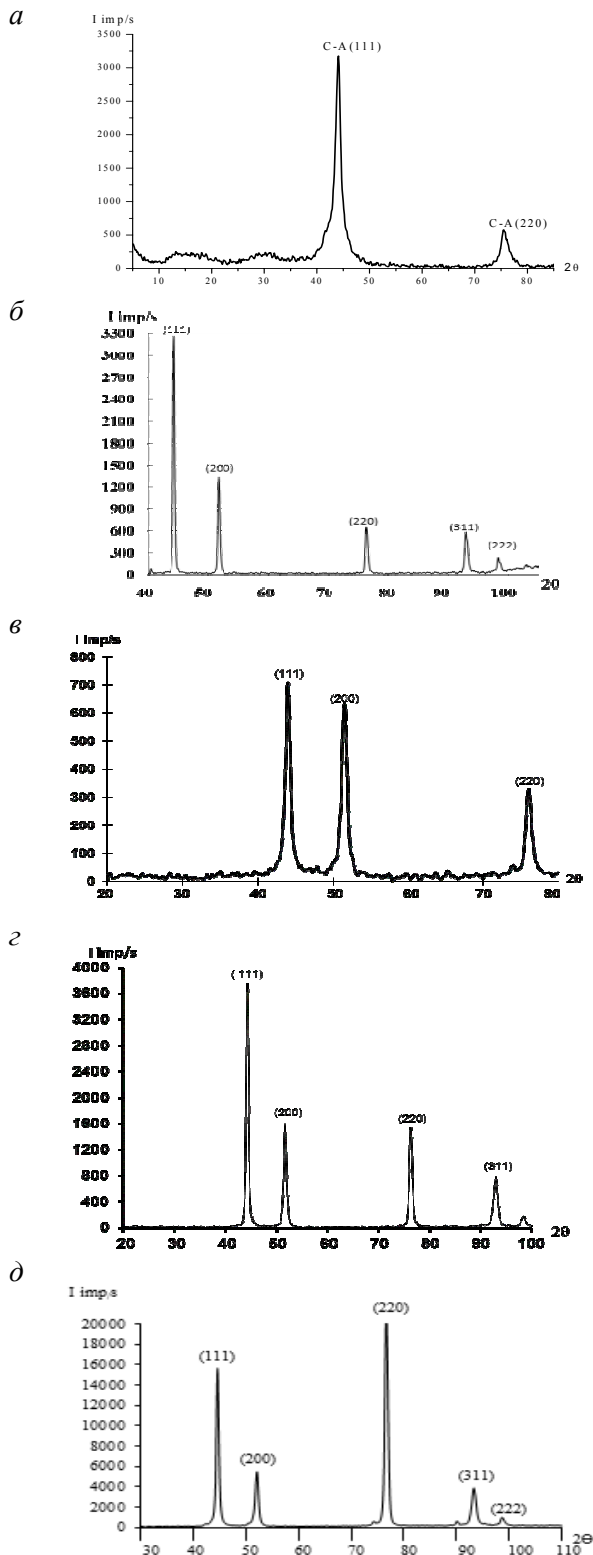
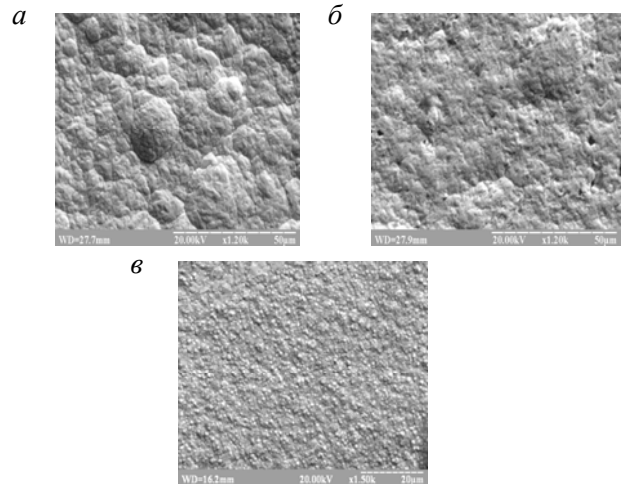


Рис. 4. Дифрактограми:

а – УДА; постійний струм:

б – Ni; в – Ni + УДА ($n = 2$ г/л); в – Ni + УДА ($n = 15$ г/л); лазерно-стимульований режим: д – Ni + УДА ($n = 15$ г/л)Рис. 5. Композиційні електролітичні нікелеві покриття, осаджені: при постійному струмі ($j = 300$ А/м²):

а – $n(\text{УДА}) = 2$ г/л без перемішування водного розчину електроліту; б – $n(\text{УДА}) = 15$ г/л з перемішуванням водного розчину електроліту; при лазерно-стимульованому режимі: в – $\lambda = 10,6$ мкм, $E = -1,06$ В, $n(\text{УДА}) = 15$ г/л

Порівняння результатів мікрорентгеноспектрального аналізу зразків, отриманих за допомогою постійного струму без лазерного випромінювання (рис. 6, а, б), показали, що найбільший вміст вуглецю (наноалмазу) відмічений в зразках, електроосаджених при катодній густині струму 300 А/м² з додаванням УДА концентрацією 15 г/л із застосуванням механічного перемішування водного розчину електроліту в процесі електроосадження (рис. 6, в). У цих зразках також спостерігається більш однорідний по поверхні розподіл вуглецю, проте його кількісний вміст не перевищує $0,14$ ат. %, але є окремі ділянки, які збагачені вуглецем до $0,31$ ат. % (табл. 1). Мікрорентгеноспектральний аналіз елементного складу КЕП, отриманих при лазерно-стимульованому режимі електроосадження (рис. 6, в), показав локальне підвищення вмісту вуглецю (наноалмазу) в області поверхні півки, що відповідає зоні опромінювання, від $0,14$ до $0,84$ ат. % (див. табл. 1).

Збільшення концентрації у водному розчині електроліту частинок дисперсної фази і вмісту вуглецю в покритті відповідно, отриманому при лазерно-стимульованому режимі, приводить до формування дрібнокристалічних більш щільноупакованих покриттів, що визначило підвищення механічних характеристик КЕП.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

При формуванні нікелевих покриттів, які містять алмази, при катодній густині струму 100 А/м^2 із збільшенням концентрації УДА у водному розчині електроліту від 2 до 15 г/л мікротвердість покриттів зростає від 1 800 до 2 200 МПа. Зростання густини струму від 100 до 300 А/м^2 приводить до збільшення мікротвердості покриттів нікель–УДА від 2 200 до 2 700 МПа.

Таблиця 1

Залежність елементного складу поверхні композиційних електролітичних нікелевих покриттів від режимів осадження і концентрації УДА у водному розчині електроліту ($j = 300 \text{ А/м}^2$)

Режим осадження	Механічне перемішування	$n(\text{УДА}), \text{ г/л}$	Вміст, ат. %			
			Ni	C	Si	S
Пост. струм	–	2	99,55	0,10	0,35	–
	+	15	99,48	0,14	0,378	–
			98,08*	0,31*	0,79*	0,82*
ЛСЕО	–	–	79,68	0,84	18,98	0,70

* Ділянки, збагачені вуглецем.

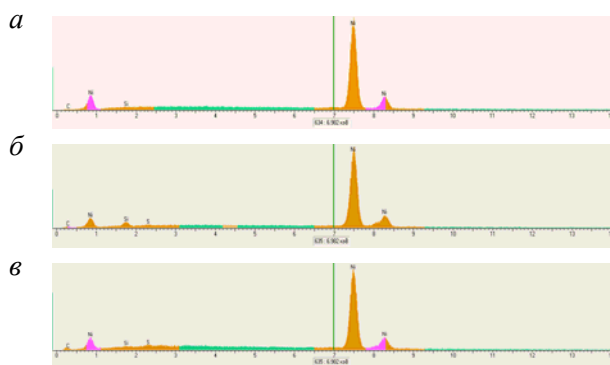


Рис. 6. Мікрорентгеноспектральний аналіз композиційних електролітичних нікелевих покриттів, осаджених: при постійному струмі ($j = 300 \text{ А/м}^2$) а – $n(\text{УДА}) = 2 \text{ г/л}$ без перемішування водного розчину електроліту; б – $n(\text{УДА}) = 15 \text{ г/л}$ з перемішуванням водного розчину електроліту; при лазерно-стимульованому режимі: в – $\lambda = 10,6 \text{ мкм}$, $E = -1,06 \text{ В}$, $n(\text{УДА}) = 15 \text{ г/л}$

Необхідно зауважити, що в результаті більш однорідного розподілу вуглецю по поверхні зразків, електроосаджених при катодній густині струму 300 А/м^2 з додаванням УДА концентрацією 15 г/л із застосуванням механічного перемішування водного розчину електроліту в процесі електроосадження, приводить до більш постійного по поверхні зразків значення мікротвердості покриття, про що свідчать результати залежності мікротвердості при скануванні поверхні композиційних нікелевих електролітичних покриттів з кроком 2 мм (рис. 7, крива 2). При лазерно-стимульованому режимі електроосадження спостерігається локальне підвищення мікротвердості плівок нікелю (рис. 7, крива 1), що пояснюється збільшенням вмісту наноалмазу в покритті (табл. 1).

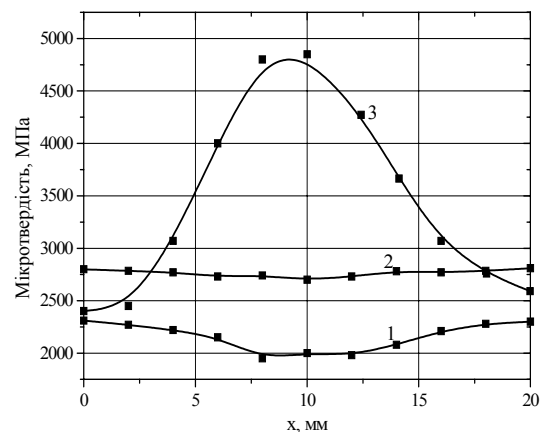


Рис. 7. Залежності мікротвердості композиційних нікелевих електролітичних покриттів, осаджених: при постійному струмі $j = 300 \text{ А/м}^2$, $n(\text{УДА}) = 15 \text{ г/л}$: 1 – без перемішування розчину; 2 – з перемішуванням розчину; при лазерно-стимульованому режимі: 3 – $\lambda = 10,6 \text{ мкм}$, $E = -1,06 \text{ В}$, $n(\text{УДА}) = 15 \text{ г/л}$

Збільшення вмісту УДА в плівках нікелю сприяє підвищенню зносостійкості покриттів (табл. 2). Покриття нікелю, електроосаджені зі стандартного сульфатного електроліту без додавання УДА, за 5 годин зносу на машині зі зворотно-поступальним рухом зразків в умовах сухого тертя об сталь 45 за ДСТУ 1050-74 при навантаженні 177 г втрачає 10 % своєї маси, при додаванні в розчин електроліту УДА концентрацією 2 г/л – 6...8 %, концентрацією 15 г/л – 3...5 %, а покриття, отримані при ЛСЕО, – 1...2 %.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Таблиця 2

Залежність зносу поверхні композиційних електролітичних нікелевих покриттів від режимів осадження і концентрації УДА у водному розчині електроліту при навантаженні 177 г

	Режим осадження			Серед. знос, мг/год
	j , А/м ²	Механічне перемішування	$n(\text{УДА})$, г/л	
Пост. струм	300	–	2	1,8
	300	+	15	1,0
ЛСЕО	300–700	–		0,4

Таким чином, дослідження нікелевих покриттів, модифікованих ультрадисперсними алмазами, показали залежність структури й механічних властивостей КЕП, а також якісного й кількісного розподілу співосадженого наноалмазу від способу електроосадження.

Наукова новизна та практична значимість

Встановлено вплив лазерного випромінювання на процес співосадження УДА, що підвищує мікротвердість і зносостійкість електролітичних нікелевих покриттів.

Лазерно-стимульоване електроосадження композиційних електролітичних нікелевих покриттів є ефективним методом локального підвищення зносостійкості металевих покриттів, що забезпечує довговічність збереження експлуатаційних (функціональних) властивостей поверхні.

Висновки

Згідно з результатами мікрорентген-спектрального аналізу та досліджень механічних властивостей композиційних електролітичних нікелевих покриттів застосування лазерного випромінювання в процесі електроосадження забезпечує суттєве підвищення експлуатаційних (функціональних) властивостей поверхні. Так, введення УДА в розчин електроліту при лазерно-стимульованому режимі електроосадження привело до отримання покриттів з більшою концентрацією УДА у 2,7 разу. Збільшення вмісту вуглецю (наноалмазу) в по-

критті, отриманому при лазерно-стимульованому режимі, привело до формування дрібнокристалічних більш щільноупакованих покриттів, що визначило підвищення механічних характеристик КЕП: мікротвердість зросла у 1,7 разу, знос зменшився у 1,6 разу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Буркат, Г. К. Ультрадисперсные алмазы в гальванотехнике / Г. К. Буркат, В. Ю. Долматов // Физика твердого тела. – 2004. – № 4. – С. 685–692.
- Долматов, В. Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза как основа нового класса композиционных металл-алмазных гальванических покрытий / В. Ю. Долматов, Г. К. Буркат // Сверхтвердые материалы. – 2000. – № 1. – С. 84–95.
- Долматов, В. Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза / В. Ю. Долматов. – СПб : Изд-во СПбГПУ, 2003. – 344 с.
- Дудкина, В. В. Адгезионная прочность никелевых и цинковых покрытий с медной основой, электроосажденных в условиях внешней стимуляции лазерным излучением / В. В. Дудкина // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – № 2 (44). – С. 83–90.
- Дудкина, В. В. Локальное лазерно-стимулированное электроосаждение никеля / В. В. Дудкина, В. А. Заблудовский // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 31. – С. 262–265.
- Дудкіна, В. В. Вплив лазерного випромінювання на процес електроосадження плівок нікелю / В. В. Дудкіна, В. О. Заблудовський, Е. П. Штапенко // Фізика і хімія твердого тіла. – 2011. – № 2. – С. 332–336.
- Заблудовский, В. А. Скорости образования и роста поверхностных зародышей при лазерно-стимулированной электрокристаллизации никелевых покрытий / В. А. Заблудовский, В. В. Дудкина // Металлофизика и новейшие технологии. – 2010. – № 6. – С. 757–763.
- Заблудовский, В. А. Структура и свойства никелевых пленок электроосажденных при лазерно-стимулированном потенциостатическом режиме / В. А. Заблудовский, В. В. Дудкина // Металлофизика и новейшие технологии. – 2012. – № 1. – С. 77–86.
- Заблудовський, В. О. Вплив лазерного випромінювання на кінетику процесу електрокристалізації плівок нікелю і цинку / В. О. Заблудовський, В. В. Дудкіна // Фізика і хімія твердого тіла. – 2013. – № 4. – С. 898–902.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

10. Исследование свойств хром-алмазных покрытий на основе детонационных наноалмазов различных производителей / Г. К. Буркат, В. Ю. Долматов, Е. Osawa, Е. А. Орлова // Сверхтвердые материалы. – 2010. – № 2. – С. 43–59.
11. Эшкин, А. Давление лазерного излучения / А. Эшкин // Успехи физ. наук. – 1973. – Т. 110, вып. 1. – С. 101–116.
12. Chiganova, G. A. Effect of nanodiamond modification on the characteristics of diamond-containing nickel coatings / G. A. Chiganova, L. E. Mordvinova // Inorganic materials. – 2011. – Vol. 47, № 7. – P. 717–721.
13. Codeposition mechanism of nanodiamond with electrolessly plated nickel films / Matsubara Hiroshi, Abe Yoshihiro, Chiba Yoshiyuki et al. // Electrochimica Acta. – 2007. – № 52 (9). – P. 3047–3052.
14. Effects of nano-diamond particles on the structure and tribological property of Ni-matrix nanocomposite coatings / Wang Liping, Yan Gao, Xue Qunji et al. // Materials Science and Engineering: A. – 2005. – Vol. 390, iss. 1–2. – P. 313–318.
15. Preparation and Investigation of Ni-Diamond Composite Coatings by Electrodeposition / He Xiangzhu, Wang Yongxiu, Sun Xin et al. // Nanoscience and Nanotechnologies Letters. – 2012. – Vol. 4, № 1. – P. 48–52.
16. Preparation of composite electrochemical nickel–diamond and iron–diamond coatings in the presence of detonation synthesis nanodiamonds / G. K. Burkat, T. Fujimura, V. Yu. Dolmatov et al. // Diamond and related materials. – 2005. – Vol. 14, № 8. – P. 1761–1764.

В. А. ЗАБЛУДОВСКИЙ¹, В. В. ДУДКИНА^{1*}, Э. Ф. ШТАПЕНКО¹

¹Каф. «Физика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 23, +38 (056) 373 15 86, эл. почта shtapenko@rambler.ru

^{1*}Каф. «Физика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 23, + 38 (056) 373 15 86, эл. почта dudkina2@ukr.net

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

Цель. Исследование влияния лазерного излучения на структуру и механические свойства электроосажденных композиционных никелевых покрытий, содержащих ультрадисперсные алмазы. **Методика.** Электроосаждение пленок никеля проводили из стандартного раствора с добавкой ультрадисперсных алмазов (УДА) на лазерно-электролитической установке, построенной на базе газоразрядного CO₂-лазера. Механические испытания покрытий на износостойкость выполнялись на машине с возвратно-поступательным движением образцов в условиях сухого трения о сталь. Спектральный микроанализ элементного состава границы раздела пленка–подложка выполнялся на растровом электронном микроскопе РЕММА-102-02. **Результаты.** Исследование никелевых покрытий, модифицированных ультрадисперсными алмазами и электроосажденных в условиях внешней стимуляции лазерным излучением, показали зависимость структуры и механических свойств композиционных электролитических покрытий, а также качественного и количественного распределения соосажденного наноалмаза от способа электроосаждения. **Научная новизна.** Установлено влияние лазерного излучения на процесс соосаждения УДА, что повышает микротвердость и износостойкость электролитических никелевых покрытий. **Практическая значимость.** Лазерно-стимулированное электроосаждение композиционных электролитических никелевых покрытий является эффективным методом локального повышения износостойкости металлических покрытий, который обеспечивает долговечность сохранения эксплуатационных (функциональных) свойств поверхности.

Ключевые слова: композиционные электролитические покрытия; ультрадисперсные алмазы; лазерное излучение; структура; механические свойства

V. A. ZABLUDOVSKIY¹, V. V. DUDKINA^{1*}, E. Ph. SHTAPENKO¹¹Dep. «Physics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 23, +38 (056) 373 15 86, e-mail shtapenko@rambler.ru^{1*}Dep. «Physics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 23, +38 (056) 373 15 86, e-mail dudkina2@ukr.net

THE INVESTIGATION OF INFLUENCE OF LASER RADIATION ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE ELECTROLYTIC NICKEL COATING

Purpose. Investigation of laser radiation effect on the structure and mechanical properties of electrodeposited nickel composite coatings containing ultrafine diamonds. **Methodology.** Electrodeposition of nickel films was carried out with the addition of a standard solution of ultrafine diamonds (UFD) on laser-electrolytic installation, built on the basis of the gas-discharge CO₂ laser. Mechanical testing the durability of coatings were performed on a machine with reciprocating samples in conditions of dry friction against steel. The spectral microanalysis of the elemental composition of the film - substrate was performed on REMMA-102-02. **Findings.** Research of nickel coatings and modified ultrafine diamond electrodeposited under external stimulation laser demonstrated the dependence of the structure and mechanical properties of composite electrolytic coating (CEC), and the qualitative and quantitative distribution of nanodiamond coprecipitated from an electrodeposition method. **Originality.** The effect of laser light on the process of co-precipitation of the UFD, which increases the micro-hardness and wear resistance of electrolytic nickel coatings was determined. **Practical value.** The test method of laser-stimulated composite electrolytic nickel electrodeposition coating is an effective method of local increase in wear resistance of metal coatings, which provides durability save performance (functional) properties of the surface.

Keywords: electrolytic composite coating; ultrafine diamonds; laser radiation; structure; mechanical properties

REFERENCES

1. Burkat G.K., Dolmatov V.Yu. Ultradispersnyye almazy v galvanotekhnike [The ultra-dispersed diamonds in electroplating]. *Fizika tverdogo tela – Solid State Physics*, 2004, vol. 46, no. 4, pp. 685-692.
2. Dolmatov V.Yu., Burkat G.K. Ultradispersnyye almazy detonatsionnogo sinteza kak osnova novogo klassa kompozitsionnykh metal-almaznykh galvanicheskikh pokrytiy [The ultra-dispersed diamonds of detonation synthesis as a basis for a new class of composite metal diamond plating coatings]. *Sverkhтвердые материалы – Superhard materials*, 2000, no. 1, pp.84-95.
3. Dolmatov V.Yu. *Ultradispersnyye almazy detonatsionnogo sinteza* [The ultra-dispersed diamonds of detonation synthesis]. Saint Petersburg, SPBGPU Publ., 2003. 344 p.
4. Dudkina V.V. Adgezionnaya prochnost nikelovykh i tsinkovykh pokrytiy s mednoy osnovoy, elektroosazhdennykh v usloviyakh vneshney stimulyatsii lazernym izlucheniym [Adhesive strength nickel and zinc coatings with copper base electrodeposited under external stimulation by laser radiation]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 2013, no. 2 (44), pp. 83-90.
5. Dudkina V.V., Zabludovskiy V.A. Lokalnoye lazerno-stimulirovannoye elektroosazhdeniye nikelya [Local laser-stimulated electrodeposition of nickel]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 31, pp. 262-265.
6. Dudkina V.V., Zabludovskiy V.O., Shtapenko E.P. Vplyv lazernoho vyprominiuvannia na protses elektroosazhdeniia plivok nikeliu [The effect of laser radiation on the process of electrodeposition of nickel films]. *Fizyka i khimiia tverdogo tila – Physics and Chemistry of Solids*, 2011, vol. 12, no. 2, pp. 332-336.
7. Zabludovskiy V.O., Dudkina V.V. Skorosti obrazovaniya i rosta poverkhnostnykh zarodyshey pri lazerno-stimulirovannoy elektrokristallizatsii nikelovykh pokrytiy [Formation and growth rate of surface nucleation in laser-stimulated electrocrystallisation nickel coatings]. *Metallofizika i noveyskiye tekhnologii – Physics of Metals and the Advanced Technologies*, 2010, vol. 32, no. 6, pp. 757-763.
8. Zabludovskiy V.O., Dudkina V.V. Struktura i svoystva nikelovykh plenok elektroosazhdennykh pri lazerno-stimulirovannom potentsiostaticheskom rezhime [The structure and properties of electrodeposited nickel films

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

- in laser-stimulated potentiostatic mode]. *Metallofizika i noveyshiye tekhnologii – Physics of Metals and the Advanced Technologies*, 2012, vol. 34, no. 1, pp. 77-86.
9. Zabludovskiy V.O., Dudkina V.V. Vplyv lazernoho vyprominiuvannya na kinetyku protsesu elektrokrystalizatsii plivok nikeliu i tsynku [The effect of laser radiation on the kinetics of the process electrocrystallisation films of nickel and zinc]. *Fizyka i khimiia tverdoho tila – Physics and Chemistry of Solids*, 2013, vol. 13, no. 4, pp. 898-902.
 10. Burkat G.K., Dolmatov V.Yu., Osawa E., Orlova E.A. Issledovaniye svoystv khrom-almaznykh pokrytiy na osnove detonatsionnykh nanoalmazov razlichnykh proizvoditeley [Investigation of properties of chromium-diamond coatings based on detonation nanodiamonds of different manufacturers]. *Sverkhtverdye materialy – Superhard materials*, 2010, no. 2, pp. 43-59.
 11. Eshkin A. Davleniye lazernogo izlucheniya [Pressure laser]. *Uspekhi fizicheskikh nauk – Advances of Physical Sciences*, 1973, vol. 110, issue 1, pp. 101-116.
 12. Chiganova G.A., Mordvinova L.E. Effect of nanodiamond modification on the characteristics of diamond containing nickel coatings. *Inorganic materials*, 2011, vol. 47, no. 7, pp. 717-721.
 13. Matsubara Hiroshi, Abe Yoshihiro, Chiba Yoshiyuki, Nishiyama Hiroshi, Saito Nobuo, Hodouchi Kazunori, Inoue Yasunobu. *Electrochimica Acta*, 2007, no. 52 (9), pp. 3047-3052.
 14. Wanga Liping, Gao Yan, Xue Qunji, Liu Huiwen, Xu Tao. Effects of nano-diamond particles on the structure and tribological property of Ni-matrix nanocomposite coatings. *Materials Science and Engineering: A*, 2005, vol. 390, issue 1-2, pp. 313-318.
 15. He Xiangzhu, Wang Yongxiu, Sun Xin, Huang Liyong. Preparation and Investigation of Ni-Diamond Composite Coatings by Electrodeposition. *Nanoscience and Nanotechnologies Letters*, 2012, vol. 4, no. 1, pp. 48-52.
 16. Burkat G.K., Fujimura T., Dolmatov V.Yu., Orlova E.A., Veretennikova M.V. Preparation of composite electrochemical nickel–diamond and iron–diamond coatings in the presence of detonation synthesis nanodiamonds. *Diamond and related materials*, 2005, vol. 14, no. 8, pp. 1761-1764.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. І. О. Вакуленком (Україна); д.фіз.-мат.н., проф. В. В. Клименком (Україна)

Надійшла до редколегії 20.08.2013

Прийнята до друку 06.09.2013

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

УДК [629.4 + 625.144.5.]–048.35

Б. М. ТОВТ^{1*}

^{1*}Каф. «Теоретична механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (063) 739 13 17, ел. пошта tovt@ua.fm

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЙ РУХОМОГО СКЛАДУ ТА СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ЗАЛІЗНИЦЬ З УРАХУВАННЯМ КОМПЛЕКСНИХ ОБМЕЖЕНЬ НА МІЦНІСТЬ

Мета. Головна мета статті полягає в розвитку наукових основ теорії топологічної оптимізації конструкцій у частині розв'язання складних задач оптимізації конструкцій рухомого складу і спеціальної техніки залізниць. **Методика.** Математичне програмування й математичне моделювання як інструменти постановки задач топологічної оптимізації конструкцій рухомого складу і спеціальної техніки залізниць. **Результати.** Виконано ґрунтовний огляд і аналіз сучасного стану теорії топологічної оптимізації конструкцій. Наведено класичну варіаційну та скінченно-елементну постановки задач топологічної оптимізації. Розглянуто ідею та особливості реалізації SIMP-методу для їх розв'язання. Подано постановку задачі топологічної оптимізації у вигляді мінімізації маси конструкції з урахуванням обмежень на напруження. Детально розглянуто низку проблем, що виникають у разі введення таких обмежень до задачі оптимізації. **Наукова новизна.** Наукова новизна статті полягає в розвитку теорії оптимального проектування конструкцій рухомого складу і спеціальної техніки залізниць шляхом запропонування постановки задачі топологічної оптимізації, адаптованої до вирішення означених задач. **Практична значимість.** Практична значимість дослідження полягає в адаптації існуючих постановок задач топологічної оптимізації до задач залізничного машинобудування.

Ключові слова: топологічна оптимізація; MCE; SIMP-метод; обмеження на напруження; утомна міцність; мінімум ваги

Вступ

Топологічна оптимізація конструкцій є концептуальним інструментом проектування й удосконалення конструкцій, який потребує пост-обробки й детального аналізу отриманих результатів.

Топологічна оптимізація, як окрема галузь наукових досліджень, бере свій початок зі статті талановитого австралійського винахідника Мічела [16], що була опублікована в 1904 р. У [16] вперше були отримані оптимальні критерії для розподілу матеріалу в рамах.

У 1960 р. на другій конференції Американської спілки цивільних інженерів з електронних

обчислень Шміт запропонував свою революційну ідею проектування тіл і систем з мінімальною вартістю за допомогою методів математичного програмування [22]. Ідея Шміта досить швидко знайшла застосування в теорії оптимізації розмірів і форми конструкцій, а пізніше була використана і для задач топологічної оптимізації [15].

Числові методи математичного програмування в топологічній оптимізації інтенсивно досліджуються з кінця 80-х років [3]. Аналіз, виконаний у [20], показує, що для вирішення задач числової скінченно-елементної топологічної оптимізації використовуються такі методи математичного програмування:

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

– градієнтні методи, серед яких найбільшого поширення набули методи послідовного лінійного програмування, послідовного квадратичного програмування, випуклої лінеаризації, а також метод рухомих асимптот [2];

– неградієнтні методи, серед яких на сьогодні прийнято виділяти дві популярні групи алгоритмів: генетичні [10] та еволюційні [26];

– методи, що базуються на критеріях оптимальності (евристичні методи) [23].

Зараз градієнтні методи мають найбільше поширення серед сучасного оптимізаційного програмного забезпечення, до якого слід віднести такі всесвітньо відомі та визнані продукти, як Altair HyperWorks OptiStruct, Dassault Systems Simulia ABAQUS, ANSYS та ін. Серед великої кількості градієнтних методів можна виділити метод рухомих асимптот, запропонований Сванбергом у [25], оскільки алгоритм цього методу становить основу обчислювальних модулів сучасних оптимізаційних комплексів. Ідея методу рухомих асимптот базується на спеціальному типі випуклої апроксимації цільової функції та функцій, що задають обмеження [8, 25].

Мета

Головна мета статті полягає в розвитку наукових основ теорії топологічної оптимізації конструкцій у частині розв'язання складних задач оптимізації конструкцій рухомого складу й спеціальної техніки залізниць.

Методика

Математичне програмування та математичне моделювання як інструменти постановки задачі топологічної оптимізації конструкцій рухомого складу і спеціальної техніки залізниць.

Результати

Класична постановка задачі топологічної оптимізації. Основна ідея топологічної оптимізації конструкцій полягає у отриманні оптимального розподілу матеріалу в наперед визначеній області. Причому суть класичної постановки задачі – мінімізації піддатливості (максимізації жорсткості) конструкції при обмеженнях на її об'єм або вагу [5].

Розглянемо деяку область проектування Ω (рис. 1) у просторі R^2 або R^3 , що є частиною

твердого деформованого тіла. У розрахунковій області визначимо масові (об'ємні) сили f , розподілені навантаження t і граничні умови на ділянці Γ_u . Задачу оптимального проектування визначимо як задачу оптимального пошуку (вибору) тензора жорсткості $E_{ijkl}(x)$, який є змінним у межах області Ω .

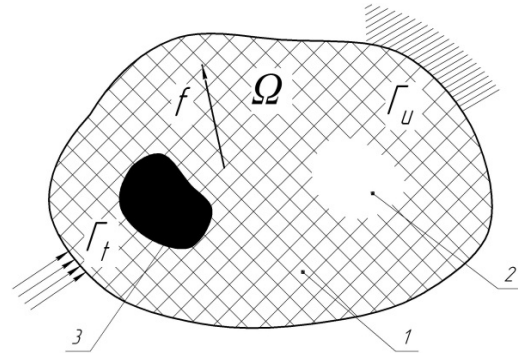


Рис. 1. Узагальнена задача проектування форми у вигляді пошуку оптимального розподілу матеріалу у двовимірній області:

1 – точка проектування; 2 – точка з відсутнім матеріалом; 3 – точка із закріпленим матеріалом

Подавучи енергетичну білінійну форму (можливу роботу внутрішніх силових факторів для пружного тіла у стані рівноваги u , а також для довільного можливого переміщення v) у вигляді

$$a(u, v) = \int_{\Omega} E_{ijkl}(x) \varepsilon_{ij}(u) \varepsilon_{kl}(v) d\Omega,$$

де лінеаризовані деформації

$$\varepsilon_{ij}(u) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \text{ і силову лінійну форму}$$

у вигляді:

$$l(u) = \int_{\Omega} f u d\Omega + \int_{\Gamma_t} t u ds,$$

задача мінімізації піддатливості (максимізації жорсткості) буде мати такий вигляд:

$$\min_{u \in U, E} l(u) \quad (1)$$

за умови $a_E(u, v) = l(v)$, $\forall v \in U$ – рівняння

рівноваги, записане у варіаційній формі, де U – простір кінематично допустимих полів переміщень; t – розподілені навантаження за ділян-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

кою $\Gamma_t \subset \Gamma \equiv \partial\Omega$ границі області; E_{ad} – множина допустимих тензорів жорсткості для даної задачі проектування.

Індекс E вказує на те, що білінійна форма a_E залежить від змінних проектування.

Скінченно-елементна постановка задачі топологічної оптимізації. Область проектування Ω поділяється на N скінченних елементів. Кожному скінченному елементу відповідає змінна проектування $\rho_e(x) \in (0,1]$, де $e=1, \dots, N$, для представлення так званої відносної густини матеріалу [4]. Ці змінні проектування створюють вектор $\bar{\rho} \in R^N$. Глобальна матриця жорсткості конструкції $\bar{K}(\rho_e) \in R^{d \times d}$ залежить від змінних проектування, де d – число степенів вільності. Якщо вектор зовнішніх навантажень $\bar{f} \in R^d$, вектор переміщень $\bar{u} \in R^d$, то основне рівняння рівноваги матиме вигляд

$$\bar{K}(\rho_e)\bar{u} = \bar{f}. \quad (2)$$

Вважаючи, що матеріал має лінійні пружні властивості, тензори деформацій і напружень можуть бути записані через кінематичне рівняння й рівняння стану відповідно

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(\bar{u}_{i,j} + \bar{u}_{j,i}), \quad (3)$$

$$\sigma_{ij} = \bar{D}_{ijkl}\varepsilon_{kl}, \quad (4)$$

де \bar{D} – матриця стану, що залежить від коефіцієнта Пуассона μ і модуля Юнга \bar{E}_0 .

На сьогодні найпоширенішим вживаним методом, який застосовується для розв'язання задач топологічної оптимізації конструкцій, є SIMP-метод, у основу якого закладено поняття твердої ізотропної мікроструктури (або матеріалу) зі штрафом (Solid Isotropic Microstructure (or Material) with Penalization). Основна ідея цього підходу була запропонована Бендсо у [4], у той час як термін «SIMP» був вперше запропонований Розвані у [21], пізніше ставши загальноживаним.

Ідея SIMP-методу полягає в заміні цілих дискретно змінюваних змінних проектування неперервними змінними, для яких після означеної заміни задається певна форма штрафу, що приводить оптимальний проект до дискретного,

так званого 0–1 розв'язку [4, 5, 8], тобто оптимальний проект конструкції має містити лише області з матеріалом – «1» і без нього – «0». Значення штучної функції густини $\rho_e(x)$, які лежать всередині проміжку $(0,1]$, мають штрафуватися.

Властивості матеріалу для кожного скінченного елемента виражаються за допомогою штрафного модуля Юнга \bar{E}_e таким чином:

$$\bar{E}_e = \rho_e^p \bar{E}_0, \quad (5)$$

де \bar{E}_0 – модуль Юнга для твердого ізотропного матеріалу; p – параметр штрафу, який має бути більшим за 1 для того, що проміжні значення густини $0 < \rho < 1$ штрафувалися [4]. Згідно з [5] параметр штрафу p рекомендовано обирати більшим, ніж 3 ($p \geq 3$) для того, щоб проміжні значення функції густини в результуючому оптимальному проекті не з'являлися. Таким чином, функція штрафу в SIMP-методі реалізується без допомоги будь-яких явних штрафних схем.

При використанні штрафного модуля Юнга \bar{E}_e глобальна матриця жорсткості буде мати явну залежність від змінних проектування, відносної густини кожного скінченного елемента:

$$\bar{K}(\bar{\rho}) = \sum_{e=1}^N \rho_e^p k_0, \quad (6)$$

де k_0 – матриця жорсткості скінченного елемента, для якої використовується модуль Юнга твердого ізотропного матеріалу E_0 .

Мінімізація піддатливості (максимізації жорсткості) конструкції для заданого її об'єму або ваги еквівалентна мінімізації енергії деформації конструкції у стані рівноваги. Отже, скінченно-елементна постановка задачі топологічної оптимізації матиме вигляд

$$\min C(u) = \bar{u}^T \bar{K} \bar{u} \quad (7)$$

за умови $\bar{K} \bar{u} = \bar{f}$, причому $m(\bar{\rho}) = \sum_{e=1}^N \rho_e \leq m_0$,

$0 < \rho_{\min} \leq \rho_e \leq 1$,

де C – піддатливість конструкції; \bar{u} – глобальний вектор переміщень; \bar{K} – глобальна мат-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

риця жорсткості; \vec{f} – глобальний вектор зовнішніх навантажень; m_0 – обмеження на максимальну масу конструкції; ρ_{\min} – мінімальна відносна густина (як правило, встановлюється $O(10^{-3})$ [5]).

Постановка задачі топологічної оптимізації конструкції з урахуванням обмежень на напруження. На відміну від класичної задачі мінімізації піддатливості конструкції при обмеженнях на її об'єм або вагу, більш реальною постановкою задачі топологічної оптимізації слід вважати задачу мінімізації маси конструкції з урахуванням обмежень на напруження, яка матиме такий вигляд:

$$\min m(\vec{\rho}) = \sum_{e=1}^N \rho_e \quad (8)$$

за умов

$$\vec{K}\vec{u} = \vec{f},$$

$$\frac{F(\sigma_e)}{[\sigma]} \leq 1,$$

$$0 < \rho_{\min} \leq \rho_e \leq 1,$$

де $F(\sigma_e)$ – функція, що характеризує розподіл напружень у скінченних елементах за областю проектування; $[\sigma]$ – значення допустимого напруження для заданого матеріалу, з якого виготовлена конструкція.

Для ізотропних матеріалів найчастіше використовується критерій Мізеса для отримання значень еквівалентних напружень σ_{vM} :

$$\sigma_{vM}^2 = \frac{1}{2} [(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2] + 3(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2).$$

Проблема сингулярності напружень. Введення обмежень на напруження породжує певні труднощі. Зазвичай у задачах топологічної оптимізації конструкцій спостерігаються проблеми зі збіжністю, зумовлені так званою сингулярністю напружень [14].

Проблема сингулярності напружень у задачах топологічної оптимізації конструкцій впе-

рше була виявлена під час проектування ферм. У роботі [7] було показано, що n -вимірний простір допустимих проектів конструкції містить вироджені підпростори розмірності, меншої за n . Більше того, глобальний оптимальний проект конструкції часто належить одному з таких вироджених підпросторів [11, 14]. Алгоритми нелінійного програмування не в змозі ідентифікувати подібні області та збігаються до локальних оптимальних проектів конструкції.

Для вирішення проблеми сингулярності обмеження на напруження піддаються релаксації задля видалення вироджених підпросторів із простору допустимих проектів і, як результат, для того, щоб методами нелінійного програмування можна було отримати глобальний оптимум задачі. Для задач топологічної оптимізації рамних і фермових конструкцій було запропоновано релаксаційні методи, зокрема метод ε -релаксації та гладеньких обвідних функцій (smooth envelope functions, SEF). Пізніше ці методи були адаптовані до задач проектування континуальних конструкцій [13].

Ідея ε -методу полягає в тому, що традиційний вигляд обмежень на допустимі напруження

$$(\sigma_{vM} - [\sigma])\rho_e \leq 0$$

замінюється шляхом зміни нижньої границі на малу величину $\varepsilon > 0$. Таким чином, обмеження на напруження буде мати вигляд

$$(\sigma_{vM} - [\sigma])\rho_e \leq \varepsilon.$$

ε -релаксація обмежень на напруження дозволяє набувати відносній густині матеріалу ρ_e досить малих значень, проте більших за нуль, таким чином видаляючи вироджені області. У роботі [24] було показано, що навіть якщо за допомогою ε -релаксації глобальний оптимум задачі може бути отриманий, це не гарантує, що розв'язок вихідної задачі з нерелаксованими обмеженнями на напруження буде збігатися до глобального оптимуму.

Критерій допустимих напружень у задачах топологічної оптимізації конструкцій. Наступна складність, яка виникає при введенні обмежень на напруження до задач топологічної оптимізації конструкцій, пов'язана з локальним характером обмежень на напруження. У континуальній постановці задачі обмеження на на-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

пруження мають розглядатися для кожної точки матеріалу. У дискретній постановці (наприклад, скінченно-елементній) число точок матеріалу є скінченним, проте все одно занадто великим, як для практичної реалізації. Існує декілька способів введення обмежень на напруження до задачі топологічної оптимізації конструкцій.

Один із найпростіших способів полягає в контролюванні величини напружень у заданих вузлах кожного скінченного елемента. Цей спосіб відомий під назвою метод локальних обмежень і використовувався у [19]. Метод локальних обмежень потребує великої кількості обчислень, адже до задачі топологічної оптимізації вводиться кількість обмежень на напруження, порівнянна з кількістю скінчених елементів. Зменшення кількості обчислень можливе за рахунок обчислення чутливостей тільки для активних обмежень.

Інший підхід полягає у зведенні всіх локальних обмежень на напруження до одного глобального обмеження. Цей підхід відомий під назвою метод глобального обмеження і використовувався у [9]. Як об'єднувальна функція застосовується функція p -норми:

$$\sigma_{PN} = \left[\sum_{e=1}^n \left(\frac{F(\sigma_e)}{[\sigma]} \right)^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (9)$$

або функція Крейссельмера–Штайнхаузера (Kreisselmeier-Steinhauser function, KS-function) [18]:

$$\sigma_{KS} = \frac{1}{p} \ln \left[\sum_{e=1}^n \exp \left(p \frac{F(\sigma_e)}{[\sigma]} \right) \right]. \quad (10)$$

Обидві функції (8) і (9) гладкі та диференційовні. Параметр p контролює рівень гладкості.

Недоліком методу глобальних обмежень є значно гірший контроль за рівнем локальних напружень порівняно з методом локальних обмежень. До переваг методу глобальних обмежень слід віднести скорочення обсягу обчислювальних операцій, що виконуються у процесі оптимального проектування.

Третій підхід передбачає групування скінчених елементів у блоки й використання окремої об'єднувальної функції для кожного блока. Такий спосіб отримав назву методу блочно-

об'єднаних обмежень і був застосований у [17].

У цьому методі для кожного блока відповідне йому обмеження на напруження може бути записане у вигляді:

$$\sigma_{\max} = \max \left(\frac{F(\sigma_e)}{[\sigma]} \right). \quad (11)$$

У разі використання методу блочно-об'єднаних обмежень кількість обмежень значно зменшується порівняно з методом локальних обмежень при відносному збереженні контролю за рівнем локальних напружень. Недоліком цього методу є те, що функція (10) не є диференційовною.

На завершення слід сказати про новий підхід, запропонований у [11]. Він має назву методу кластерів. Згідно з цим підходом скінченні елементи, що мають сумірний рівень напружень, об'єднуються разом у так звані кластери за певним правилом (метод рівнів напружень або метод розподілених напружень).

Фільтр для змінних проектування. Обмеження на напруження суттєво нелінійно залежать від проекту. На рівень напружень надмірно впливає зміна відносної густини матеріалу ρ_e у сусідніх областях, і це явище посилюється в критичних областях з великими градієнтами напружень (концентраціями напружень), наприклад у гострих кутах. Ця проблема отримала назву проблеми залежності розв'язку від скінченно-елементної сітки (mesh-dependency problem) [5, 11, 13]. Таким чином, постановка задачі топологічної оптимізації конструкцій та алгоритм її вирішення мають уникати проблем зі збіжністю.

Для коректної постановки задачі топологічної оптимізації запропонований і пізніше доведений метод фільтрування густини [6]. Фільтровані змінні густини ρ_e створюються шляхом взяття середнього зваженого від сусідніх змінних проектування x_j . Фільтр змінних проектування записується так:

$$\rho_e(\vec{x}) = \frac{\sum_{j \in \Omega_e} w_j x_j}{\sum_{j \in \Omega_e} w_j}, \quad (12)$$

де Ω_e – множина (для скінченного елемента e), що містить усі елементи j , що лежать всере-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

дині кола радіусом r_0 , виміряного між центрами тяжіння сусідніх елементів (рис. 2); w_j – середньозважений коефіцієнт.

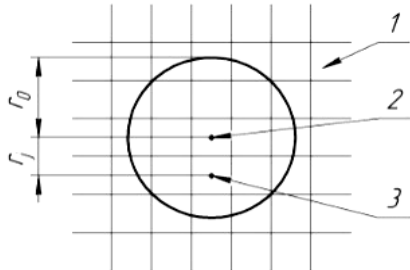


Рис. 2. Візуалізація фільтру змінних проектування:
1 – скінченно-елементна сітка;
2 – змінна проектування e ; 3 – змінна проектування j

Середньозважений коефіцієнт визначається [6] таким чином:

$$w_j = \frac{r_0 - r_j}{r_0}.$$

Зауважимо, що вага дорівнює нулю для усіх змінних проектування, що перебувають зовні множини Ω_e . З точки зору реалізації, вагова матриця \vec{W} увійде до функції відносної густини матеріалу таким чином:

$$\rho_e(\vec{x}) = \sum_{j=1}^{n_e} W_{ej} x_j.$$

Постановка задачі топологічної оптимізації конструкцій рухомого складу залізниць та спеціальної техніки залізниць з урахуванням обмежень на міцність. Для більшості задач оптимізації рухомого складу та спеціальної техніки залізниць класична постановка задачі топологічної оптимізації є неприйнятною, оскільки створення найбільш жорсткої конструкції при обмеженнях лише на її об'єм або вагу не є доцільним.

Важливою для залізничного машинобудування є проблема створення тримальних конструкцій найменшої маси при виконанні обмежень на міцність.

Міцність конструкцій локомотивів, моторвагонного рухомого складу, вагонів і колійних машин оцінюється за двома критеріями: допустимих напружень і коефіцієнтів запасу утомної міцності [1]. Оцінка міцності виконується як на стадії проектування, так і на етапі випробувань дослідних зразків.

Щодо критерію допустимих напружень, то вище детально було розглянуто постановку задачі топологічної оптимізації конструкцій з урахуванням обмежень на напруження (8). Запишемо (8) таким чином:

$$(P_1) \quad \begin{cases} \min_x \sum_{e=1}^n m_e \rho_e(\vec{x}), \\ s.t. \quad \begin{cases} \frac{\sigma_i^s(\vec{x})}{[\sigma^s]} \leq 1, i=1, \dots, n_i, \\ e < x_e < 1, e=1, \dots, n_e, \end{cases} \end{cases} \quad (13)$$

де $\sigma_i^s(\vec{x})$ – значення напруження для i -го обмеження на напруження; $[\sigma^s]$ – значення допустимого напруження для заданого матеріалу, з якого виготовлена конструкція.

Проект конструкції, отриманий за допомогою постановки задачі (13), (P_1) може відповідати вимогам обмежень за допустимими напруженнями, проте це не гарантується, як було зазначено в [21]. За необхідності до постановки задачі (13) можуть бути додатково введені обмеження на піддатливість, переміщення чи власні частоти. У [11] виконано порівняння задач з різними постановками, описаними вище, а також зроблено висновок, що вирішення задачі топологічної оптимізації конструкції можливо розпочинати одразу з уведення обмежень на допустимі напруження у вигляді (13).

Що стосується введення оцінки утомної міцності конструкції до задач топологічної оптимізації, то це питання зараз розвивається і досліджується [11, 12]. На основі огляду й аналізу сучасного стану теорії топологічного проектування конструкцій, що був виконаний вище, не виявлено достатньої кількості публікацій, присвячених цій проблемі стосовно до задач проектування й удосконалення залізничної техніки. Таким чином, розгляд задачі топологічної оптимізації конструкцій рухомого складу і спеціальної техніки залізниць з урахуванням комплексних обмежень на міцність є актуальним науково-технічним питанням.

У [12] запропоновано постановку задачі топологічної оптимізації з урахуванням обмежень на утомну міцність наводити в такому вигляді:

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

$$(P_2) \left\{ \begin{array}{l} \min_x \sum_{e=1}^n m_e \rho_e(\bar{x}), \\ s.t. \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_i^s(\bar{x})}{[\sigma^s]} \leq 1, i=1, \dots, n_i, \\ \frac{\sigma_j^f(\bar{x})}{[\sigma^f]} \leq 1, j=1, \dots, n_j, \\ e < x_e < 1, e=1, \dots, n_e, \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (14)$$

де $\sigma_j^f(\bar{x})$ – значення утомного напруження для j -го обмеження на утомні напруження; $[\sigma^f]$ – значення допустимого утомного напруження для заданого матеріалу, з якого виготовлена конструкція, обране таким чином, щоб накопичене пошкодження D було меншим, ніж допустиме $[D]$ для встановлених умов навантаження протягом повної розрахункової довговічності.

Постановку задачі топологічної оптимізації конструкцій рухомого складу та спеціальної техніки залізниць з урахуванням комплексних обмежень на міцність пропонується виконувати у вигляді (P_2) .

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна статті полягає в розвитку теорії оптимального проектування конструкцій рухомого складу і спеціальної техніки залізниць шляхом запропонування постановки задачі топологічної оптимізації, адаптованої до вирішення означених задач.

Практична значимість дослідження полягає в адаптації існуючих постановок задач топологічної оптимізації до задач залізничного машинобудування.

Висновки

У статті розглянуто основні етапи створення теорії топологічної оптимізації конструкцій, наведено класичну варіаційну та скінченно-елементну постановку задачі топологічної оптимізації. Розглянуто ідею та особливості реалізації SIMP-методу для її розв'язання.

Наведено постановку задачі топологічної оптимізації у вигляді мінімізації маси конструкції з урахуванням обмежень на напруження.

Детально розглянуто низку проблем, що виникають при введенні таких обмежень до задачі оптимізації. Зокрема, надано опис і методи вирішення проблеми сингулярності напружень, а також проблеми залежності від скінченно-елементної сітки (фільтр для змінних проектування). Також розглянуто методи введення обмежень на напруження до задач топологічної оптимізації – методи локальних обмежень, глобального обмеження, блочно-об'єднаних і кластерних обмежень.

Таким чином, огляд і аналіз сучасного стану теорії топологічного проектування конструкцій, виконаний у статті, показав, що цей науковий напрямок є актуальним і активно розвивається останнім часом.

Саме тому залучення такого сучасного інструменту проектування, як топологічна оптимізація, до розв'язання задач створення й удосконалення конструкцій рухомого складу і спеціальної техніки залізниць є актуальною проблемою.

У статті запропонована постановка задачі топологічної оптимізації конструкцій рухомого складу та спеціальної техніки залізниць з урахуванням комплексних обмежень на міцність, що включають обмеження за критеріями допустимих напружень і критеріями утомної міцності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Костриця, С. А. Чисельна реалізація методів математичного програмування у задачах оптимального проектування механічних конструкцій / С. А. Костриця, Б. М. Товт // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 30. – С. 150–154.
2. Allaire, G. Shape optimization by the homogenization method / G. Allaire. – New York : Springer, 2002. – 471 p.
3. Bendsoe, M. P. Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method / M. P. Bendsoe, N. Kikuchi // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 1988. – № 71. – P. 197–224.
4. Bendsoe, M. P. Optimal shape design as a material distribution / M. P. Bendsoe // Structure Optimization. – 1989. – № 1. – P. 193–202.
5. Bendsoe, M. P. Topology Optimization: Theory, Methods and Application / M. P. Bendsoe, O. Sigmund. – Heidelberg : Springer, 2003. – 370 p.
6. Bruns, T. Topology optimization of non-linear elastic structures and compliant mechanisms /

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

- T. Bruns, D. Tortorelli // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 2001. – № 190 (26–27). – P. 3443–3459.
7. Cheng, G. D. Study on topology optimization with stress constraints / G. D. Cheng, Z. Jiang // Engineering Optimization. – 1992. – № 20 (2). – P. 129–148.
8. Christensen, P. W. An introduction to Structural Optimization / P. W. Christensen, A. Klarbring. – London : Springer, 2009. – 211 p.
9. Guilherme, C. E. M. Topology optimization of continuum structures with ε -relaxed stress constraints / C. E. M. Guilherme, J. S. O. Fonseca // ABCM Symp. Series in Solid Mechanics. – 2007. – № 1. – P. 239–250.
10. Hajela, P. Genetic algorithms in truss topology optimization / P. Hajela, E. Lee // Intern. J. Solids Structure. – 1992. – № 32. – P. 3341–3357.
11. Holmberg, E. Stress constrained topology optimization / E. Holmberg, B. Torstenfelt, A. Klarbring // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2013. – № 48 (1). – P. 33–47.
12. Holmberg, E. Fatigue constrained topology optimization / E. Holmberg, B. Torstenfelt, A. Klarbring // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2013. – *preprint*.
13. Le, C. Stress-based topology optimization for continua / C. Le, J. Norato, T. Bruns, C. Ha // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2010. – № 41. – P. 605–620.
14. Lee, E. Stress-constrained topology optimization with design-dependent loading / E. Lee, K. A. James, J. R. R. A. Martins // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2012. – № 46 (5). – P. 647–661.
15. Lewinski, T. Exact analytical solutions for some popular benchmark problems in topology optimization II: three-side polygonal supports / T. Lewinski, G. I. N. Rozvany // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2007. – № 33. – P. 337–350.
16. Michell, A. G. M. The limits of economy of material in frame structures / A. G. M. Michell // Philosophical Magazine. – 1904. – № 8. – P. 589–597.
17. Paris, J. Block aggregation of stress constraints in topology optimization of structures / J. Paris, F. Navarrina, I. Colominas // Advances in Engineering Software. – 2010. – № 41 (3). – P. 433–441.
18. Paris, J. Topology optimization of continuum structures with local and global stress constraints / J. Paris, F. Navarrina, I. Colominas // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2009. – № 39. – P. 419–437.
19. Pereira, J. Topology optimization of continuum structures with material failure constraints / J. Pereira, E. Francello, C. Barcellos // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2004. – № 26 (1). – P. 50–66.
20. Rozvany, G. I. N. Aims, scope, methods, history and unified terminology of computer-aided topology optimization in structural mechanics / G. I. N. Rozvany // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2001. – № 21. – P. 90–108.
21. Rozvany, G. I. N. Difficulties in truss topology optimization with stress, local buckling and system stability constraints / G. I. N. Rozvany // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 1996. – № 11 (3). – P. 213–217.
22. Schmit, L. A. Structural design by systematic synthesis / L. A. Schmit // Proc. of the second ASCE Conf. on Electronic Computation. – Pittsburgh : ASCE, 1960. – P. 105–122.
23. Spillers, W. R. Structural Optimization / W. R. Spillers, K. M. MacBain. – London : Springer, 2009. – 302 p.
24. Stolpe, M. On the trajectories of the epsilon-relaxation approach for stress-constrained truss topology optimization / M. Stolpe, K. Svanberg // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2001. – № 21 (2). – P. 140–151.
25. Svanberg, K. The method of moving asymptotes – a new method for structural optimization / K. Svanberg // Intern. J. for Numerical Methods in Engineering. – 1987. – № 24. – P. 359–373.
26. Xie, Y. M. Evolutionary structural optimization / Y. M. Xie, G. P. Steven. – London : Springer, 1997. – 540 p.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Б. Н. ТОВТ^{1*}

^{1*}Каф. «Теоретическая механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (063) 739 13 17, эл. почта tovt@ua.fm

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ КОМПЛЕКСНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ

Цель. Главная цель статьи заключается в развитии научных основ теории топологической оптимизации конструкций в части решения сложных задач оптимизации конструкций подвижного состава и специальной техники железных дорог. **Методика.** Математическое программирование и математическое моделирование как инструменты создания постановки задач топологической оптимизации конструкций подвижного состава и специальной техники железных дорог. **Результаты.** Выполнен основательный обзор и анализ современного состояния теории топологической оптимизации конструкций. Приведены классическая вариационная и конечно-элементная постановки задач топологической оптимизации. Рассмотрена идея и особенности реализации SIMP-метода для их решения. Приведена постановка задачи топологической оптимизации в виде минимизации массы конструкции с учетом ограничений по напряжениям. Детально рассмотрен ряд проблем, возникающих при введении подобных ограничений в задачу оптимизации. **Научная новизна.** Научная новизна заключается в развитии теории оптимального проектирования конструкций подвижного состава и специальной техники железных дорог путем создания постановки задачи топологической оптимизации, адаптированной к решению упомянутых задач. **Практическая значимость.** Практическая значимость исследования состоит в адаптации существующих постановок задач топологической оптимизации к задачам железнодорожного машиностроения.

Ключевые слова: топологическая оптимизация; МКЭ; SIMP-метод; ограничения на напряжения; усталостная прочность; минимум веса

B. M. TOVT^{1*}

^{1*}Dep. «Theoretical Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (063) 739 13 17, e-mail tovt@ua.fm.

COMPLEX STRENGTH-CONSTRAINED TOPOLOGY STRUCTURAL OPTIMIZATION PROBLEM STATEMENT FOR ROLLING STOCK AND SPECIAL EQUIPMENT OF RAILWAY

Purpose. The main paper purpose is the development of the topology structural optimization scientific basis regarding to the complicated optimization problems of rolling stock and special railway equipment structures. **Methodology.** Mathematical programming and mathematical modeling are the creating tools for the topology structural optimization problem statement for the rolling stock and special railway equipment. **Findings.** The fundamental review and analysis of the topology structural optimization modern state is executed. The classical variation problem statement and FE-statement of the topology optimization problem are in the paper. The stress-constrained structure mass minimization problem statement is considered. The stress-constrained topology optimization problems have some difficulties, which are considered in the paper in detail. The strength condition by the fatigue strength safety factor criterion is transformed to the strength condition by the allowable stresses criterion. **Originality.** Scientific novelty is the development of the optimal design theory adapted to solving the rolling stock and special railway equipment structures problems. **Practical value.** Practical importance of the research is the adaptation of the existing topology structural optimization problem statements to the railway engineering industry problems.

Keywords: topology optimization; FEM; SIMP-method; stress constraints; fatigue strength; weight minimum

REFERENCES

1. Kostrytsia S.A., Tovt B.M. Chyselna realizatsiia metodiv matematychnoho prohramuvannia u zadachakh op-
tymalnoho proektuvannia mekhanichnykh konstruktiv [The numerical implementation of mathematical pro-
gramming in problems of optimal design in mechanical structures]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho
universytetu zalizничного transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National
University named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 30, pp. 150-154.
2. Allaire G. Shape optimization by the homogenization method. New York, Springer Publ., 2002. 471 p.
3. Bendsoe M.P., Kikuchi N. Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method.
Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1988, no. 71, pp. 197-224.
4. Bendsoe M.P. Optimal shape design as a material distribution. *Structure Optimization*, 1989, no. 1, pp. 193-202.
5. Bendsoe M.P., Sigmund O. Topology Optimization: Theory, Methods and Application. Heidelberg, Springer
Publ., 2003. 370 p.
6. Bruns T., Tortorelli D. Topology optimization of non-linear elastic structures and compliant mechanisms.
Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2001, no. 190 (26-27), pp. 3443-3459.
7. Cheng G.D., Z. Jiang. Study on topology optimization with stress constraints. *Engineering Optimization*, 1992,
no. 20 (2), pp. 129-148.
8. Christensen P.W., Klarbring A. An introduction to Structural Optimization. London, Springer Publ., 2009. 211 p.
9. Guilherme C.E.M., J.S.O. Fonseca Topology optimization of continuum structures with ε -relaxed stress con-
straints. *ABCM Symposium Series in Solid Mechanics*, 2007, no. 1, pp. 239-250.
10. Hajela P., Lee E. Genetic algorithms in truss topology optimization. *International Journal Solids Structure*,
1992, no. 32, pp. 3341-3357.
11. Holmberg E., Torstenfelt B., Klarbring A. Stress constrained topology optimization. *Structural and Multidis-
ciplinary Optimization*, 2013, no. 48 (1), pp. 33-47.
12. Holmberg E., Torstenfelt Bo., Klarbring A. Fatigue constrained topology optimization. *Structural and Multid-
isciplinary Optimization*, 2013, preprint.
13. Le C., Norato J., Bruns T. Stress-based topology optimization for continua. *Structural and Multidisciplinary
Optimization*, 2010, no. 41, pp. 605-620.
14. Lee E., James K. A., Martins J. R. R. A. Stress-constrained topology optimization with design-dependent load-
ing. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2012, no. 46 (5), pp. 647-661.
15. Lewinski T., Rozvany G.I.N. Exact analytical solutions for some popular benchmark problems in topology optimi-
zation II: three-side polygonal supports. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2007, no. 33, pp. 337-350.
16. Michell A.G.M. The limits of economy of material in frame structures. *Philosophical Magazine*, 1904, no. 8,
pp. 589-597.
17. Paris J., Navarrina F., Colominas I. Block aggregation of stress constraints in topology optimization of struc-
tures. *Advances in Engineering Software*, 2010, no. 41 (3), pp. 433-441.
18. Paris J., Navarrina F., Colominas I. Topology optimization of continuum structures with local and global stress
constraints. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2009, no. 39, pp. 419-437.
19. Pereira J., Francello E., Barcellos C. Topology optimization of continuum structures with material failure con-
straints. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2004, no. 26 (1), pp. 50-66.
20. Rozvany G.I.N. Aims, scope, methods, history and unified terminology of computer-aided topology optimiza-
tion in structural mechanics. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2001, no. 21, pp. 90-108.
21. Rozvany G.I.N. Difficulties in truss topology optimization with stress, local buckling and system stability con-
straints. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 1996, no. 11 (3), pp. 213-217.
22. Schmit L.A. Structural design by systematic synthesis. Proc. of the second ASCE Conf. on electronic compu-
tation. Pittsburgh, 1960, pp. 105-122.
23. Spillers W.R., MacBain K.M. Structural Optimization. London, Springer Publ., 2009. 302 p.
24. Stolpe M., Svanberg K. On the trajectories of the epsilon-relaxation approach for stress-constrained truss to-
pology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2001, no. 21 (2), pp. 140-151.
25. Svanberg K. The method of moving asymptotes – a new method for structural optimization. *International
Journal for Numerical Methods in Engineering*, 1987, no. 24, pp. 359-373.
26. Xie Y.M., Steven G.P. Evolutionary structural optimization. London, Springer Publ., 1997. 540 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. С. В. Ракшою (Україна);
к.т.н. М. Е. Хожилом (Україна)

Надійшла до редколегії 06.08.2013

Прийнята до друку 30.08.2013

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

UDC 629.423.2.027.2:539.4

O. M. BONDAREV^{1*}, E. M. DZICHKOVSKYY¹, O. E. KRYVCHYKOV¹,
V. M. SKOBLenko²

^{1*}Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 08, e-mail onildpps@gmail.com

¹Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 08, e-mail onildpps@gmail.com

²The State Administration of Railway Transport of Ukraine, Tverska St., 5, Kyiv, Ukraine, 03680

HARDNESS INDICES ESTIMATION OF SUPPORTING STRUCTURE ELEMENTS OF MOTOR BOGIES OF THE ELECTRIC TRAIN ED9M

Purpose. The purpose of article is to develop the measures of hardness indices improvement of the supporting structures of motor cars of the electric trains ED9M. **Methodology.** In order to achieve the above stated aims the following measures had to be done: to develop a finite element model of the supporting structures of the motor bogie of the electric train ED9M, determine parameters of the developed model; perform the calculations to determine the stress-strain state during loads corresponding to different operating conditions with the search of geometric parameters reducing the highest stress levels. **Findings.** The obtained results of calculations (fields of stress distribution and strains in the elements of the motor bogie frame) from the viewpoint of the strength and stiffness discovered the best geometric parameters of the bearings in the central suspension beams of the electric trains ED9M in the places of load transmission from the car body to the bogie frame. **Originality.** Based on the developed finite element models and the theoretical and experimental researches the scientifically grounded modernization measures of the construction elements of the central suspension beams for motor bogies of the electric trains ED9M were developed. **Practical value.** It was developed an engineering solution concerning the measures to improve the strength and stiffness characteristics of the central suspension beams for the motor cars of the electric trains ED9M. It was given to the Ukrzaliznytsya's professionals to implement them during repairs.

Keywords: simulation models; theoretical calculations; ED9M electric train; motor bogie; bogie frame and the central suspension beam; strength characteristics

Introduction

In 2007 Russia bought a certain amount of electric trains ED9M produced by the Demikhiv plant of mechanical engineering in relation to the need to meet the demands for suburban passenger transportations and for the renewal of electric train fleet in Ukraine [6].

Fig. 1, 2 show a general view of the head and motor cars of this electric train, when Fig. 3, 4 shows the general view of the motor car bogie and the central suspension beam [10, 11].



Fig. 1. The head car of the electric train ED9M

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ



Fig. 2. The motor car of the electric train ED9M

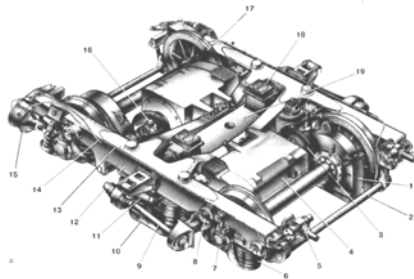


Fig. 3. General view of the motor bogie of the electric train ED9M

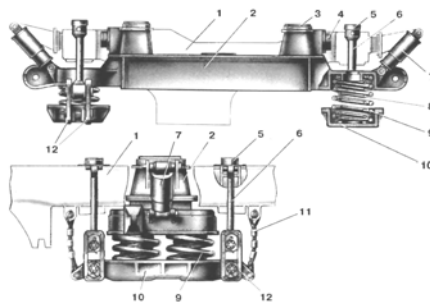


Fig. 4. General view of the beam and elements of structure interaction with the body and bogie frame

As it was found out in a short operation period of these electric trains on the AC powered stations with quite simple profile in terms of loading, a beam fracture incident of the central suspension for electric train bogie had occurred. Fig. 5 shows a view of such beam.



Fig. 5. General view of the fractured beam

It is known that fractures occur in the places of maximum loadings, arising during operation. At the same time it should be noted that crack appearing, its development and fracture is to a great extent caused by the presence of excessive concentrators in the corresponding place due to poor casting.

A lot of works are dedicated to the following issues: the dynamic loading determination, comparative evaluation of various techniques during research conducting to identify the fatigue indicators and the resource of the bogie supporting structures, bench development and conduction of vibration bench testing for fatigue failure. These works were published in Ukraine and Russia [1, 3, 4, 7] and in the foreign countries as well [2, 12, 13].

Purpose

Aim of the study was to find out the factors that could lead to the fracture of the central suspension beam and on the basis of relevant work to develop a set of measures to improve the durability performance.

Methodology

To assess the stress levels that can be created in both the central suspension beam and in the basic bearing structures of the bogie frame a solid model displaying the configuration and the design features were created [14] and the finite-element calculation model was developed [9].

Beam models and the bogie frames are shown in Fig. 6 and 8 and its finite element calculation model – in Fig. 7 and 9.



Fig. 6. General view of the model of central suspension beam for the electric train ED9M

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

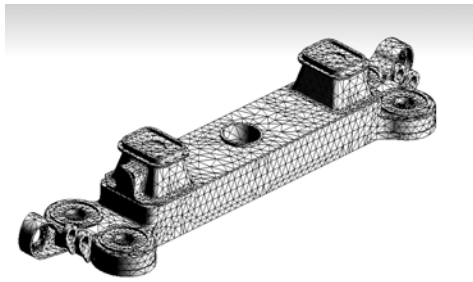


Fig. 7. Finite-element calculation model of the central suspension beam for the electric train ED9M

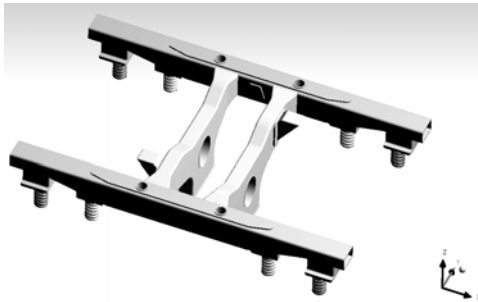


Fig. 8. Model of the motor bogie frame

The finite-element calculation model shown in Fig. 7 consists of 14016 elements and has 28.728 junctions.

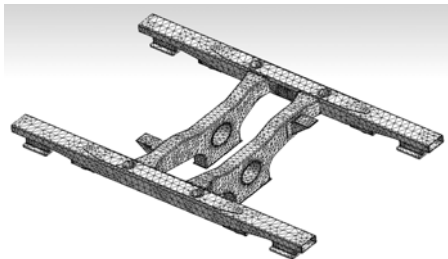


Fig. 9. Finite-element calculation model of the motor bogie frame

The finite-element model of the bogie frame consists of 65144 elements and 131172 junctions.

According to the developed finite-element schemes [9] the calculations with the following operation modes modeling were carried out:

1. Determination of static stress elements from the body weight action. It is assumed that the motor car body weight 64.9 tons is evenly distributed among all the bearings and thus 32.45 tons fall to each central suspension beam. Then this loading is transferred to the bogie frame longitudinal beams;

2. Determination of the maximal stress levels during the coasting motion of electric train. In this case, it is assumed that the static loading from the

body is increased by $(1 + C_{VD})$ time, where C_{VD} is the coefficient of vertical dynamics of central suspension;

3. Determination of the maximal stress levels during motion in traction mode. In this case, the horizontal lateral N and traction F_T forces in the connection junctions of shifter arm, as well as bending moments in the vertical M_v and in the horizontal M_h areas are applied to the central suspension beam and longitudinal beams of the bogie frame.

Findings

Using the developed models [14] and finite-element schemes [9] the impact assess of geometric design parameters of the spring sets bearings, which are attached to the profile base of the beam on the stress state of these elements was calculated.

Figure 10 shows the distribution field of stresses in case the strengthening ribs of the spring set bearings, connecting with the profile base of the central suspension beam are absent.

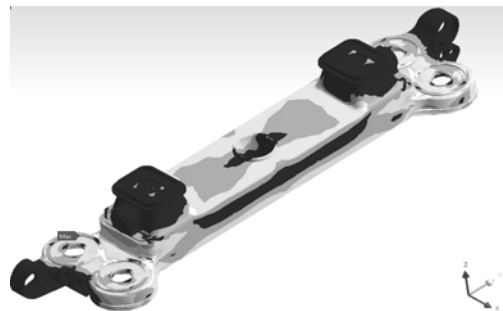


Fig. 10. Stress distribution field under static loading and absence of strengthening ribs

Fig. 11 shows the results of the stress-strain state calculation from the effect of static loading in case the strengthening ribs have the same thickness as in the fractured beam of central suspension.



Fig. 11. Stress distribution field under static loading with small strengthening rib

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

Fig. 12 shows the results of calculation of the stress-strain state during motion in traction mode for the case when the strengthening ribs have the same thickness as in the fractured beam of central suspension.



Fig. 12. Stress distribution field during motion of electric train in traction mode with small strengthening rib

Fig. 13 shows an example of the stress distribution field of the motor bogie frame during the modeling of motion; where in addition to the loading from body weight the force of buff dynamic loading in the fusing unit of traction gear box to the bogie frame is taken into account.

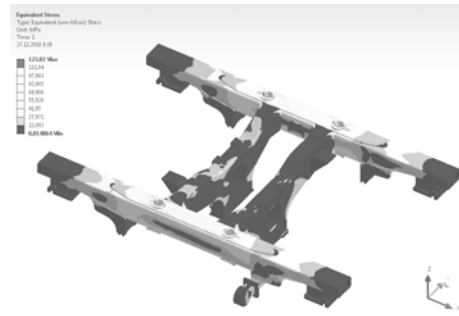


Fig. 13. Stress distribution field in the mode of motion, where the buff dynamic loading from the forces in the fusing unit of traction gear box to the bogie frame.

Table 1 shows the levels of maximal stresses in the most loaded areas of the central suspension beam in the proposed options of modernization for the supporting junction of spring set.

For the steel 09 H2S, which is used to product the supporting structures for rolling stock, the value of strength limit is 500 MPa, and liquid limit is 359 MPa.

Table 1

The maximal stress values in the central suspension beam in various modernization options

No.	Modernization measures content	Loading mode	Area of maximal stress	Equivalent stress value, MPa
1	There is no separating strengthening rib in the bearing of spring set.	Static loading from the car body weight	Transition point from the spring set bearing to the body bearing	268
			Inner surface of separating fluting of the spring support	268
2	There are separating strengthening ribs 20 mm thick	Static loading from the car body weight	Transition point from the spring set bearing to the body bearing	210
			Inner surface of separating fluting of the spring support	210
3	There are separating strengthening ribs 18 mm thick	Static loading from the car body weight	The separating strengthening rib in junction place to the body support fragment	265
4	There are separating strengthening ribs 25 mm thick	Static loading from the car body weight	Transition point from the spring set bearing to the body bearing	195
			The separating strengthening rib in junction place to the body support fragment	195

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

End of the Table 1

No.	Modernization measures content	Loading mode	Area of maximal stress	Equivalent stress value, MPa
5	There are separating strengthening ribs 25 mm thick with roundings of 15 mm radius along the height	Static loading from the car body weight	Transition point from the spring set bearing to the body bearing	190
			The separating strengthening rib in junction place to the body support fragment	190
6	There are separating strengthening ribs 25 mm thick with roundings of 15 mm radius along the height	Dynamics, movement in the traction mode	Transition point from the spring set bearing to the body bearing	195

Originality and Practical Value

On the basis of the worked out models and conducted research the scientifically grounded measures of modernization for central suspension beams of the electric cars ED9M were developed. It was obtained that the design of spring set support with the strengthening ribs 25 mm thick and the roundings of 15 mm radius along the height is the best one. As a result of the research it was developed an engineering solution of measures to improve the strength performance of the central suspension beams for the motor cars of electric trains ED9M. This solution was transferred to the specialists of Ukrzaliznytsya to implement them during the PR3 or overall repairs.

Conclusions

The results of calculations and the obtained fields of stress distribution in the central suspension beam showed that the fracture occurred in the areas of maximal stresses, which are created in the operation conditions. The crack appearing, its development and fracture is also caused by the presence of excessive concentrators due to the poor casting.

On the basis of obtained results of theoretical studies it was found out that the junction of spring set support with strengthening ribs 25 mm thick and with roundings of 15 mm radius along the height is the best one.

General view of the best modernization variant, which has minimal stress levels and meets the requirements to the strength parameters [5] is shown in Fig. 14.

For bogie frame in the most unfavorable loading mode (calculation example of which is shown in Fig. 13) it was found out that the greatest stress

levels on the top sheets of longitudinal beams reach 100 MPa. In the middle of the longitudinal beams between the junctions of vertical loading transmission the maximal stresses are changing in the range of 56-70 MPa. On the transverse beams in the places of their junction to the longitudinal beams the maximal stresses are 40 MPa and 30 MPa in the middle.

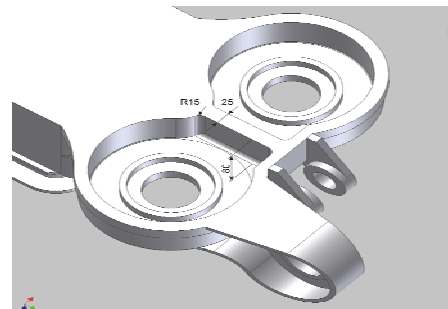


Fig. 14. General view of the best modernization variant of the central suspension beam

On the bottom sheets of longitudinal beams in the area of load transferring from the bogie weight and central suspension beam the maximal stresses reach 126 MPa.

In the junction of transverse beams to the longitudinal beams the maximal stresses do not exceed 30 MPa, including the locations of support brackets for traction gear boxes.

On the basis of strength calculations of the basic supporting structures for motor bogie frames it can be concluded that the above mentioned stresses are those, which do not constitute a threat to the strength safety of their state [5]. But during operation of the electric trains ED9M in the motor bogies the condition of the longitudinal beams in the places the transmit nodes of vertical loading from the body and the bolster to the bogie frame should be controlled.

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Бондарев, О. М. Визначення строку служби несучих конструкцій моторвагонного рухомого складу із застосуванням методики порівняння їх динамічної завантаженості / О. М. Бондарев, В. Л. Горобець, І. М. Грушак // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 24. – С. 18–24.
2. Бондарев, О. М. Експериментально-теоретична оцінка показників міцності балок центрального підвищення дизель-поїздів ДР1А / О. М. Бондарев, Д. О. Ягода, В. М. Скобленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 37. – С. 7–19.
3. Бондарев, О. М. Методики оцінки залишкового ресурсу пасажирського рухомого складу / О. М. Бондарев, В. Л. Горобець, Б. Я. Остапюк // Залізн. трансп. України. – 2002. – № 5. – С. 28–30.
4. Горобець, В. Л. Аналіз експлуатаційної наробки несучих конструкцій рухомого складу в задачах продовження терміну його експлуатації / В. Л. Горобець, О. М. Бондарев, В. М. Скобленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 35. – С. 10–16.
5. Зенкевич, О. М. Метод конечных элементов в технике / О. М. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 542 с.
6. Концепція Державної програми реформування залізн. трансп. від 27 грудня 2006 р. № 651-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/651-2006-%D1%80>. – Назва з екрану.
7. Кулешов, В. П. Оценка остаточного ресурса рам тележек электропоездов ЭР1, ЭР2 путем их стеновых вибрационных испытаний / В. П. Кулешов, В. Л. Горобець, А. И. Паламаренко // Трансп. нагруженность и прочность подвижного состава : сб. науч. тр. – Д., 1998. – С. 56–62.
8. Нормы расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств экипажной части моторвагонного подвижного состава железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – М. : ВНИИЖТ РФ, 1997. – 148 с.
9. Потемкин, А. Твердотельное моделирование в системе КОМПАС – 3D (+ CD – ROM) / А. Потемкин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 512 с.
10. Руководство по устройству электропоездов серии ЕД9М, ЕД9Т, ЕР9П. – М. : Центр Коммерческих Разраб., 2005. – 128 с.
11. Шеремет, Д. М. Электропоезда серий ЭД9М, ЭД9Т и ЭР9П. Руководство по эксплуатации / Д. М. Шеремет, С. А. Пономаренко, Ю. И. Кубышкин. – СПб. : Центр Коммерческих Разраб., 2005. – 116 с.
12. Hilberry, B. M. Fatigue life of 2024 T3 aluminum alloy under narrow- and broad band random loading / B. M. Hilberry // Effects of environment and complex load history on fatigue life (29.09–04.10.1968). – Atlanta : ASTM STP 462, 1970. – P. 167–183.
13. Luo, R. K. Dynamic stress analysis of an open-shaped railway bogie frame / R. Luo, B. L. Gabbittas, B. V. Brickle // Engineering Failure Analysis. – 1996. – Vol. 3, iss. 1. – P. 53–64.
14. The improvement of underground vehicles bogie construction / A. A. Bitiutsky, L. A. Sveshnikov, A. N. Sapozhnikov, R. A. Savushkin // Proc. of the 7th Mini Conf. on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies (06.11–08.11.2000). – Budapest, 2000. – P. 241–247.

А. М. БОНДАРЕВ^{1*}, Е. М. ДЗИЧКОВСКИЙ¹, А. Е. КРИВЧИКОВ¹, В. М. СКОБЛЕНКО²

^{1*}Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08, эл. почта onildpps@gmail.com

¹Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08, эл. почта onildpps@gmail.com

²Государственная администрация железнодорожного транспорта Украины, ул. Тверская, 5, Киев, Украина, 03680

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МОТОРНЫХ ТЕЛЕЖЕК ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ СЕРИИ ЭД9М

Цель. Целью работы является разработка мероприятий по улучшению показателей прочности и жесткости элементов несущих конструкций тележек моторных вагонов электропоездов серии ЭД9М. **Методика.** Для достижения указанной цели было необходимо: разработать конечно-элементные модели несущих кон-

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

струкцій моторної тележки електропоезда серії ЕД9М; визначити параметри розробленої моделі; провести розрахунки по визначенню напружено-деформованого стану при навантаженнях, що відповідають різним умовам експлуатації, з пошуком геометричних параметрів, що сприяють зменшенню найбільших рівнів напружень. **Результати.** Результати розрахунків (поля розподілу напружень та деформацій в елементах рами моторної тележки) дозволили отримати найкращі з точки зору міцності та жорсткості геометричні параметри опорних частин балок центрального підвішування моторних вагонів електропоездів серії ЕД9М в місцях передачі навантажень від кузова вагона до рами візка. **Научная новизна.** На основі створених моделей та виконаних теоретичних та експериментальних досліджень розроблено науково обґрунтовані заходи з модернізації елементів конструкції надресорних балок центрального підвішування моторних тележок електропоездів серії ЕД9М. **Практическая значимость.** Розроблено технічне рішення для заходів з покращення показників міцності та жорсткості балок центрального підвішування моторних тележок вагонів електропоездів серії ЕД9М та передано спеціалістам Укрзалізниці для впровадження під час виконання ремонтів ПР-3 або КР.

Ключевые слова: розрахункові моделі; теоретичні розрахунки; електропоезд серії ЕД9М; моторна тележка; рама тележки та балка центрального підвішування; показники міцності

О. М. БОНДАРЄВ^{1*}, Є. М. ДЗІЧКОВСЬКИЙ¹, О. Є. КРИВЧИКОВ¹, В. М. СКОБЛЕНКО²

^{1*}Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08, ел. пошта onildpps@gmail.com

¹Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08, ел. пошта onildpps@gmail.com

²Державна адміністрація залізничного транспорту України, вул. Тверська, 5, Київ, Україна, 03680

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ МОТОРНИХ ВІЗКІВ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ СЕРІЇ ЕД9М

Мета. Метою роботи є розробка заходів з покращення показників міцності та жорсткості елементів несучих конструкцій візків моторних вагонів електропоїздів серії ЕД9М. **Методика.** Для досягнення вказаної мети було необхідно: розробити скінченно-елементні моделі несучих конструкцій моторного візка електропоїздів серії ЕД9М; визначити параметри розробленої моделі; виконати розрахунки з визначення напружено-деформованого стану при навантаженнях, що відповідають різним умовам експлуатації, з пошуком геометричних параметрів, що сприяють зменшенню найбільших рівнів напружень. **Результати.** Результати розрахунків (поля розподілу напружень та деформацій в елементах рами моторного візка) виявили найкращі з позиції міцності та жорсткості геометричні параметри опорних частин балок центрального підвішування моторних вагонів електропоїздів серії ЕД9М у місцях передачі навантажень від кузова вагона до рами візка. **Наукова новизна.** На підставі створених скінченно-елементних моделей та виконаних теоретичних та експериментальних досліджень розроблено науково обґрунтовані заходи з модернізації елементів конструкції надресорних балок центрального підвішування моторних візків електропоїздів серії ЕД9М. **Практична значимість.** Розроблено технічне рішення для заходів з покращення показників міцності та жорсткості балок центрального підвішування моторних вагонів електропоїздів серії ЕД9М та передано спеціалістам Укрзалізниці для впровадження під час виконання ремонтів ПР-3 або КР.

Ключові слова: розрахункові моделі; теоретичні розрахунки; електропоїзд серії ЕД9М; моторний візок; рама візка та балка центрального підвішування; показники міцності

REFERENCES

1. Bondarev O.M., Horobets V.L., Hrushchak I.M. Vyznachennia stroku sluzhby nesuchykh konstruktssii motorvahnnoho rukhomoho skladu iz zastosuvanniam metodyky porivniannia yikh dynamichnoi zavantazhenosti [Age-dating bearings constructions of rolling stock by dynamic loading comparison method]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 24, pp. 18-24.
2. Bondarev O.M., Yagoda D.O., Skoblenko V.M. Eksperymentalno-teoretychna otsinka pokaznykiv mitsnosti balok tsentralnoho pidvishuvannia dyzel-poizdiv DR1A [Experimental and theoretical assessment of indicators of central bogie frame strength of diesel locomotives DR1A]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2013, issue 5 (47), pp. 10-15.

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

- of durability of central suspension beams of the diesel trains DR1A series]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 37, pp. 7-19.
3. Bondarev O.M., Horobets V.L., Ostapiuk B.Ya. Metodyky otsinky zalyshkovoho resursu pasazhyrskoho rukhomoho skladu [Methods of estimation of remaining resource of passenger rolling stock]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2002, issue 5, pp. 28–30.
 4. Horobets V.L., Bondarev O.M., Skoblenko V.M. Analiz ekspluatatsiinoi narobky nesuchykh konstrukttsii rukhomoho skladu v zadachakh prodovzhennia terminu yoho ekspluatatsii [An analysis of operating work of bearings constructions of rolling stock in the tasks of extending its exploitation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*. [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 35, pp. 10-16.
 5. Zenkevich O.M. *Metod konechnykh elementov v tekhnike* [The finite elements method in technique]. Moscow, Mir Publ., 1975. 542 p.
 6. *Kontseptsiiia Derzhavnoi prohramy reformuvannia zaliznychnoho transportu* (Concept of the State railway reform). Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/651-2006-%D1%80> (Accessed 18 June 2013).
 7. Kuleshov V.P., Gorobets V.L., Palamarenko A.Y. Otsenka ostatochnogo resursa ram telezhek elektropoyezdov ER1, ER2 putem ikh stendovykh vibratsionnykh ispytaniy [Residual life assessment of bogie frames electric trains ER1, ER2 by their vibration test bench]. *Transport. Nagruzhennost i prochnost podvizhnogo sostava* [Transport. Loading and strength of rolling stock]. Dnipropetrovsk, 1998, pp. 56-62.
 8. *Normy rashcheta i otsenki prochnosti nesushchikh elementov i dinamicheskikh kachestv ekipazhnoy chasti motorvagonnogo podvizhnogo sostava zheleznykh dorog MPS RF kolei 1520 mm* [Rules for calculating and assessing the strength of load-bearing elements and dynamic qualities of the vehicle-railcar rolling stock Railway Ministry 1520 mm]. Moscow, VNIIZhT RF Publ., 1997. 148 p.
 9. Potemkin A. *Tverdotelnoye modelirovaniye v sisteme KOMPAS–3D (+CD-ROM)* [Solid modeling in KOMPAS-3D]. Saint Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2004, 512 p.
 10. *Rukovodstvo po ustroystvu elektropoyezdov seriy ED9M, ED9T, ER9P* [Guidance on the arrangement of electric trains ED9M, ED9T, ER9P series]. Moscow, Tsentr Kommercheskikh Razrabotok Publ., 2005. 128 p.
 11. Sheremet D.M., Ponomarenko S.A., Kubyshkin Yu.I. *Elektropoyezda seriy ED9M, ED9T i ER9P. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Electric trains ED9M, ED9T and ER9P series. Instruction manual]. Saint Petersburg, Tsentr Kommercheskikh Razrabotok Publ., 2005. 116 p.
 12. Hilberry B.M. Fatigue life of 2024 T3 aluminum alloy under narrow- and broad band random loading. Effects of environment and complex load history on fatigue life. Atlanta, ASTM STP 462 Publ., 1970, pp. 167-183.
 13. Luo R.K., Gabbittas B.L., Brickle B.V. Dynamic stress analysis of an open-shaped railway bogie frame. *Engineering Failure Analysis*, 1996, vol. 3, issue 1, pp. 53-64.
 14. Bitiutsky A.A., Sveshnikov L.A., Sapozhnikov A.N., Savushkin R.A. The improvement of underground vehicles bogie construction. Proc. of the 7th Mini Conf. on Vehicle System Dynamics «Identification and Anomalies», Budapest 2000, pp. 241-247.

*Ph.D. (Techn. Sc.), Ass. Prof. A. L. Pulariia (Ukraine), Ph.D. (Techn. Sc.),
Ass. Prof. O. D. Zhakovskiy (Ukraine) recommended this article to be published*

Received: June 04, 2013

Accepted: August 08, 2013

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 625.1.031:629.464.247

В. С. КОССОВ¹, А. Л. БИДУЛЯ^{1*}, О. Г. КРАСНОВ¹, М. Г. АКАШЕВ¹

^{1*}ОАО «ВНИКТИ», ул. Октябрьской революции, 410, Коломна, Российская Федерация, 140402, тел. +7 (496) 618 82 48, факс +7 (496) 618 82 27, эл. почта vnikti@ptl-kolomna.ru

¹ОАО «ВНИКТИ», ул. Октябрьской революции, 410, Коломна, Российская Федерация, 140402, тел. +7 (496) 618 82 48, факс +7 (496) 618 82 27, эл. почта vnikti@ptl-kolomna.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ-СИЛОВОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПУТИ

Цель. Исследование возможности применения геометрически-силового метода для определения сходоопасных участков железнодорожного пути при движении порожних вагонов. Программой испытаний предусмотрено диагностирование пути с учетом продольных сил в грузовом поезде, действующих на порожние вагоны. **Методика.** Порожние вагон-минераловоз и вагон-термоцистерна были оборудованы тензометрическими колесными парами, тензометрическими автосцепками и другими измерительными приборами и введены в состав грузового поезда массой 4 500 т. **Результаты.** В работе показано, что часть сходоопасных участков пути не выбраковывают традиционными способами, базирующимися на оценке геометрических параметров пути. В ходе выполненных исследований установлено, что геометрически-силовой метод позволяет получать дополнительную информацию о состоянии пути с позиции устойчивости порожних вагонов против схода. Этим методом выявляются участки пути, которые не могут быть оценены техническими средствами, применяемыми в настоящее время на вагонах-путеизмерителях. Участки пути с низкими параметрами по устойчивости порожних вагонов против схода являются индивидуальными и определяются не только размерами отступлений, но и их формой, сочетанием разных типов неровностей, профилем и дефектностью элементов верхнего строения пути. **Научная новизна.** Геометрически-силовой метод необходимо рассматривать как дополнительный к существующей технологии оценки состояния пути по геометрическим параметрам, внедрение которого позволит выявлять сечения пути, опасные для движения порожних вагонов. **Практическая значимость.** Для внедрения геометрически-силового метода оценки состояния пути на сети железных дорог ОАО «РЖД» предлагается на базе накопленных статистических и экспериментальных данных по испытаниям вагонов с повышенным центром тяжести разработать специализированное программное обеспечение для вагонов-путеизмерителей, исключающее применение в технологии оценки пути дополнительного грузового вагона с тензометрическими колесными парами.

Ключевые слова: тензометрическая колесная пара; диагностический поезд; сходоопасное сечение пути; порожние вагоны; безопасность движения

Введение

Оценка состояния пути на железных дорогах ОАО «РЖД» производится по геометрическим показателям рельсовой колеи путем фиксации степеней отступлений от установленных допусков. Каждое отступление имеет оценку по

баллам и увязано с динамическим взаимодействием подвижного состава и интенсивностью накопления остаточных деформаций пути. Вместе с тем силы, которые возникают при взаимодействии колеса с рельсом, зависят не только от величины неровности, но и от ее

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

формы, длины волны, от того, одиночная сила или периодически повторяющаяся. Так, несимметричные просадки оказывают более вредное влияние на динамику вагона, нежели симметричные, поскольку вызывают боковую качку вагона, а это приводит к снижению коэффициента запаса устойчивости колес на рельсах. Использование только геометрических характеристик отдельных неровностей не может дать полной оценки состояния пути, поскольку при одинаковой геометрии жесткость пути может быть различной, а это определяет разницу в величинах сил взаимодействия пути и подвижного состава. Поэтому состояние пути целесообразно оценивать не только по его геометрическим показателям, но и по показателям взаимодействия пути и подвижного состава, от значения которых зависят безопасность движения и интенсивность накопления в пути деформаций. К числу таких показателей, с точки зрения безопасности движения, относятся силы взаимодействия колес и рельсов, а также коэффициенты динамики подвижного состава, определяющие устойчивость колеса против вкатывания гребня на головку рельса.

Цель

Наиболее эффективным методом оценки устойчивости вагонов против схода является контроль силовых факторов, действующих непосредственно в зоне контакта колеса с рельсом.

В 50-е годы прошлого века профессором М. Ф. Вериго [1] был предложен метод оценки вертикальных и боковых сил в зоне контакта колеса с рельсом по деформациям диска колеса. Этот метод получил развитие как в отечественной, так и в зарубежной практике.

Центром транспортной техники и технологии ТТСИ (США) разработан метод контроля схода опасных участков железнодорожного пути по динамическим характеристикам движения поезда с использованием нейронных сетей – PBTG. Метод предусматривает испытания грузовых вагонов, оборудованных тензометрическими колесными парами, совместно с вагоном-путеизмерителем на маршрутах железных дорог. Полученные показатели взаимосвязи силовых факторов и геометрических неровностей входят в состав базы данных для «обучения» искусственных нейронных сетей. Для кон-

кретного типа подвижной единицы «обученные» нейронные сети напрямую связывают трехмерную геометрию пути и скорость движения с динамическими характеристиками движения подвижного состава, распознают сложные изображения и нелинейные связи между множеством входных сигналов и одиночным выходным сигналом [2].

Методика

Для обнаружения схода опасных сечений железнодорожного пути геометрически-силовым методом ВНИКТИ изготовлены два диагностических вагона: один на базе термостерны, другой на базе минераловоза. Каждый вагон оборудован тензометрической колесной парой (рис. 1) – тензометрической автоцепкой (ТА), измерительными приборами для регистрации вертикальных ($ВУ_1$) и поперечных ($ГУ_1$) ускорений кузова, прогибов пружин рельсовых комплектов ($ПР_1, ПР_2$), рамных сил ($УР_1, УР_2$), поворота тележки относительно рамы вагона ($ГОТ_1$), датчиками пройденного пути (ДПП). Основными измерительными приборами являлись тензометрические колесные пары (ТКП) с системой бесконтактной передачи информации от вращающейся оси, позволяющие регистрировать вертикальные и боковые силы в зоне контакта колеса с рельсами.

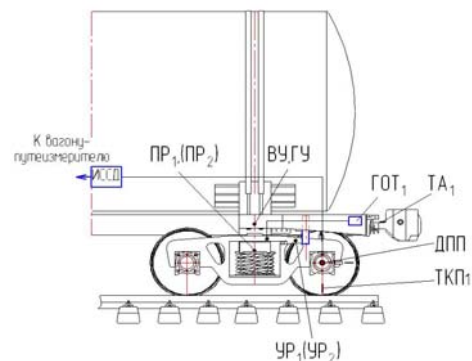


Рис. 1. Схема оборудования вагонов измерительными приборами

В конструкции ТКП использованы стандартные вагонные колесные пары, на дисках которых расположены измерительные схемы, состоящие из двух включенных в полумостовую схему тензорезисторов. На ТКП с четырьмя измерительными каналами на каждом диске колесной пары располагаются по четыре полумос-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

товые тензометрические схемы: две для измерения вертикальных сил, две – для боковых. Каждая измерительная схема регистрирует по два значения силовых факторов за оборот колеса – в момент, когда тензодатчики располагаются перпендикулярно поверхности качения рельса.

Информативные значения вертикальных сил равны экстремумам функций сигналов, что соответствует моменту наезда диска колесной пары на рельс в точке установки датчика вертикальной силы. Информативными значениями боковых сил являются значения, одновременные величинам вертикальных сил тензорезисторов в створе.

В процессе выполнения исследований разработано программное обеспечение, позволяющее:

- определять вертикальные и боковые силы в зоне контакта колеса с рельсом и выполнять расчеты коэффициентов запаса устойчивости колеса против схода с рельса в автоматическом режиме;
- оценивать время контактирования колеса с рельсом и тем самым определять период действия неблагоприятных силовых факторов.

Для оценки сходаопасных сечений пути геометрически-силовым методом проведены эксплуатационные испытания диагностического поезда. Они осуществлялись в два этапа. На первом этапе сформирован диагностический поезд, в состав которого входил вагон-минераловоз и вагон-термоцистерна, вагон-лаборатория, вагон-путеизмеритель КВЛ-ПЗ,0 с расширенными функциональными возможностями (рис. 2).

В составе данного поезда выполнено диагностирование пути по маршруту Голутвин–Воскресенск–Куrowsкая–Вековка–Муром–Арзамас–Казань–Агрыз–Красноуфимск–Свердловск–Челябинск общей протяженностью около 1 880 км.

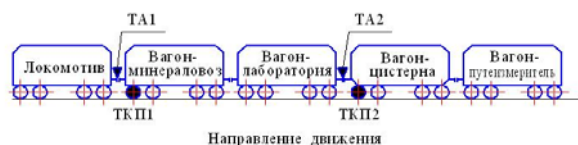


Рис. 2. Схема диагностического поезда

По прибытии диагностического поезда на ст. Челябинск был сформирован грузовой поезд

массой 4 500 т, в последнюю треть которого были включены вагон-путеизмеритель КВЛ-ПЗ,0 – третий «с хвоста», вагон-лаборатория – седьмой «с хвоста», вагон-термоцистерна – шестой «с хвоста», вагон-минераловоз – двенадцатый «с хвоста» (рис. 3).

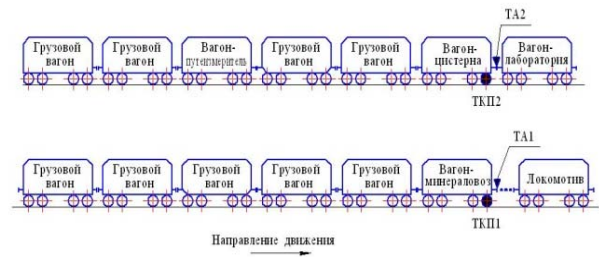


Рис. 3. Схема установки вагонов-объектов, вагона-путеизмерителя, вагона-лаборатории в составе грузowego поезда

В составе грузowego поезда диагностирование выполнено по маршруту Челябинск–Уфа–Самара–Сызрань–Пенза–Рязань–Рыбное общей протяженностью 1 940 км.

Результаты

В результате работы диагностического поезда выявлено 44 сечения пути, на которых наблюдалось снижение запаса устойчивости колеса против схода с рельса менее 1 ($K_y < 1$) на расстоянии, пройденном колесом при действии неблагоприятных силовых факторов, более 1 м ($\ell > 1$ м).

Ниже представлены наиболее характерные сечения пути, на которых были зарегистрированы силовые факторы, опасные для движения порожних грузовых вагонов.

При движении диагностического поезда по II главному пути перегона Венец–Нухтолово Горьковской ж.д. на 324-м м 366-го км наблюдалось снижение коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса K_y до 0,9 на расстоянии, пройденном колесом при действии неблагоприятных силовых факторов, 1,2 м.

Анализ силовых факторов, действующих в указанных сечениях, показал:

- указанное сечение расположено в зоне сопряжения переходной и круговой кривой R 663 м с возвышением $h = 85$ мм;
- движение выполнялось со скоростью $V = 56$ км/ч;

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

– в указанной зоне имело место сочетание рихтовки Р 2 39 23 (321 м) с просадками Пр.л. 2 22 4 (314 м), Пр.п. 2 20 4 (313 м).

Следует отметить, что имеющиеся отступления являются близкими к предельным для II степени и в сочетании со сложным профилем пути определяют данное сечение как сходаопасное.

Анализ динамических параметров диагностического вагона-термоцистерны показал, что уровни вертикальных и горизонтальных ускорений кузова, уровни рамных сил, прогибы пружин рессорных комплектов, углы поворота тележки с ТКП относительно кузова имели значения ниже нормированных.

На перегоне Сергач–Андосово Горьковской ж.д. при движении диагностического поезда по II главному пути на 542-м км со скоростью $V = 50$ км/ч имело место сечение пути, в котором коэффициент запаса устойчивости колеса K_y снизился до 0,93 на расстоянии, пройденном колесом при действии неблагоприятных силовых факторов, до $l \approx 1,5$ м, что определяет данное сечение как сходаопасное.

Анализ геометрических параметров пути и силовых факторов показал:

– при движении вагона-термоцистерны на 802-м метре 542-го км произошло частичное обезгруживание колеса ТКП до 2,3 тс с 4 тс при одновременном повышении боковой силы до 2,5 тс;

– движение происходило в круговой кривой $R = 652$ м при возвышении $h = 110$ мм со скоростью $V = 50$ км/ч;

– на круговом участке кривой с 451-го м по 997-й м имелось 52 отступления II и III степеней, в том числе: по уширению – 31 отступление II степени; 6 отступлений III степени; по рихтовкам – 6 отступлений II степени; по перекосам – 4 отступления II степени; по просадкам – 2 отступления II степени.

В сечении с низким значением K_y имела место рихтовка Р 2 27 30 с последовательно расположенным уширением Уш 2 1538 2 1, Уш 2 1538 9 3, Уш 3 1539 5 2.

Причиной снижения K_y явилось близкое к предельному уширение рельсовой колеи до 1 538...1 542 мм, приводящее к влиянию порожних вагонов, вызывающему периодическое увеличение боковых сил до 2 тс и более.

Наличие рихтовки Р 2 27 30 привело к повышенным значениям боковых сил до 2,5 тс

(три пика) с частичным обезгруживанием набегающего колеса. Таким образом, близкое к предельному уширение колеи в кривой в сочетании с отступлением в плане II степени Р 2 27 30 определило сечение пути, в котором возникли силовые факторы, опасные для движения порожних грузовых вагонов.

На перегоне Андосово–Пильна Горьковской ж.д. при движении диагностического поезда по II главному пути на 550-м км произошло снижение K_y до 0,72 на расстоянии, пройденном колесом при действии неблагоприятных факторов, до 1,2 м.

Анализ силовых факторов и геометрических неровностей железнодорожного пути показал:

– движение вагона-термоцистерны происходило в кривой $R = 568$ м с возвышением наружной рельсовой плети $h = 110$ мм при $V = 54$ км/ч. В круговой части и начале переходной кривой имели место уширения колеи с изменением последней до 3...3,5 мм на 1 м: Уш 2 1538 7 2, Уш 2 1535 3 1, Уш 1535 3 1. Далее поезд двигался по S-образной кривой через прямую вставку длиной 25 м. Перед прямой вставкой в переходной кривой имелся перекосяк П 2 12 13, в зоне прямой вставки имелось сужение Суж 2 1513 4 1. На данном участке пути наблюдалось периодическое повышение боковых сил до 2...2,5 тс с расстоянием между вершинами, пик которого до 13...15 м, что связано с колебаниями влияния вагона.

Значения боковых сил определялись интенсивностью влияния вагона, которая непосредственно связана с шириной колеи. При периодическом повышении значений боковых сил до 2...2,5 тс для случаев синхронного действия повышенной боковой силы и частичного обезгруживания колес происходило периодическое снижение коэффициента устойчивости K_y до 0,72...0,9.

При наличии в кривом участке пути совместно с уширением рельсовой колеи до 1 538...1 545 мм отступлений в виде перекосов и рихтовок II степени, их последовательностей и сочетаний возникают периодические повышения боковых сил с синхронным обезгруживанием колес вагонов с повышенным центром тяжести.

В отдельных случаях это определяло снижение коэффициента запаса устойчивости K_y ниже 1 при времени действия неблагоприятных

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

факторов, достаточном для вкатывания гребня колеса на головку рельса.

При проезде на проход стрелочного перевода № 4 по станции Ильшовка Свердловской ж.д. на 16-м м 1 582-го км при скорости движения диагностического поезда $V = 82$ км/ч имело место снижение коэффициента устойчивости K_y до 0,6 при расстоянии $\ell > 1$ м, пройденном при действии неблагоприятных силовых факторов.

Анализ силовых факторов показал, что причиной снижения K_y явилось повышение боковой силы до $H_8 = 2,8$ тс с одновременным частичным обезгруживанием набегающего колеса до 1,58 тс.

По лентам вагона-путеизмерителя установлено, что сечение, на котором произошло снижение K_y , характеризуется наличием 7 отступлений II и III степени на длине 40 м (0...37 м). Имели место следующие отступления: Р 3 37 30 (9 м), Пр.п. 2 12 5 (11 м), Пр.л. 2 12 5 (12 м), П 3 18 16 (22 м), Пр.п. 2 12 4 (26 м), Пр 2 13 4 (34 м), Р 3 22 33 (37 м). При визуальном осмотре установлено, что участок, на котором выявлено сечение с низким K_y , расположен в зоне контррельсов стрелочного перевода марки 1/11, на участке по левой рельсовой нити имеется четыре «выплеска».

Таким образом, высокая концентрация отступлений III, II степеней (7 отступлений на 40 м) в виде рихтовок, просядок, перекосов на прямом участке пути при скорости движения более $V = 70$ км/ч может вызвать силовые факторы, опасные для движения порожних грузовых вагонов.

Анализ сечений пути, опасных для движения порожних вагонов, показал, что имеются типовые участки, вероятность возникновения в которых сходаопасных сечений наиболее высока, в частности в кривых участках пути при сверхнормативном уширении (уширения III, IV степеней). Последнее определяет интенсивные колебания виляния порожних вагонов с частотой $\sim 1,4...1,6$ Гц, которые приводят к значениям боковых сил от 2,5...3 тс. Наличие в указанной кривой отступлений в виде перекосов, рихтовок и их сочетаний может приводить к частичному обезгруживанию колес. В случае синхронного действия боковой силы и обезгруживания колес имеют место случаи снижения $K_y < 1$ при времени действия неблагоприятных

силовых факторов, достаточном для вкатывания гребня колеса на головку рельса:

- в прямых вставках S-образных кривых, при сужении колеи менее 1 515 мм в сочетании с отступлениями II степени в виде перекосов или рихтовки, их сочетаний или последовательностей;

- при наличии сочетаний рихтовок, отступлений в плане II степени, предельных по величине к III степени, в переходных кривых, зонах сопряжения прямых с переходной кривой, переходной с круговой кривой;

- при высокой концентрации отступлений II, III степени (6 и более отступлений на 50 м) в виде рихтовок, перекосов, просядок, их сочетаний в разной последовательности на прямых участках пути и пологих кривых при скоростях движения более 50 км/ч;

- в случаях синхронного повышения продольной силы в процессе движения поезда, при одновременном взаимодействии колеса с геометрическими неровностями пути коэффициент устойчивости K_y может снижаться ниже 1 ($K_y < 1$), при времени действия неблагоприятных силовых факторов, достаточном для вкатывания гребня колеса на головку рельса.

Следует отметить, что имели место случаи, когда при наличии в прямых участках пути и пологих кривых ($R > 1800$ м) отступлений III и IV степени в виде рихтовки, перекосов, просядок, а также их сочетаний в разной последовательности, снижение K_y достигало 2...1,3 и не являлось критическим с позиций схода. Это подтверждает индивидуальность каждого конкретного сечения, учитывающую формы геометрических неровностей, их сочетание, взаимное расположение, профиль пути в плане и продольный профиль, уровни продольных усилий, возникающие в поезде в режимах трогания и торможения, соотношение профилей колес и рельсов и т.д.

Научная новизна и практическая значимость

Геометрически-силовой метод необходимо рассматривать как дополнительный к существующему. Его применение позволит выявлять сечения пути, опасные для движения порожних вагонов. Для внедрения данного метода для оценки состояния пути на сети железных дорог

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ОАО «РЖД» предлагается на базе накопленных статистических и экспериментальных данных по испытаниям вагонов с повышенным центром тяжести разработать специализированное программное обеспечение для вагонов-путеизмерителей по оценке пути геометрически-силовым методом, исключающее применение в технологии оценки пути дополнительного грузового вагона с тензометрическими колесными парами.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено:

- геометрически-силовой метод позволяет выявлять сечения пути с коэффициентами запаса устойчивости, ниже нормируемых значений;
- участки пути с низкими значениями коэффициентов при устойчивости порожних вагонов против схода являются индивидуальными и определяются не только размерами отступлений по геометрии пути, но и их формой и сочетанием разных типов неровностей, что в настоящее время не учитывается при оценке пути существующими методами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. К вопросу об устойчивости против вкатывания колеса на рельс для порожних грузовых вагонов / В. Д. Данович, В. В. Рыбкин, А. Г. Рейдемейстер и др. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2004. – Вип. 3. – С. 90–96.
2. Коваль, В. А. Метод измерения динамических сил с большой дискретизацией по длине пути с помощью тензометрической колесной пары / В. А. Коваль, А. Н. Кажаяев // Решение задач взаимодействия подвижного состава и пути реального очертания : сб. науч. тр. – М., 1985. – С. 49–57.
3. Корженевич, И. П. Точность съемки плана железнодорожной колеи и пути ее повышения / И. П. Корженевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 27. – С. 116–120.
4. Коссов, В. С. Факторы устойчивости порожних вагонов / В. С. Коссов, В. В. Березин, В. А. Быков // Мир трансп. – 2012. – № 2. – С. 168–177.
5. Красков, О. Г. Как влияют продольно-динамические силы на устойчивость порожних вагонов / О. Г. Красков // Вагоны и вагонное хоз-во (прил. к ж-лу «Локомотив»). – 2012. – № 4. – С. 38–39.
6. Краснов, О. Г. Исследование устойчивости порожних вагонов при движении по искусственным неровностям / О. Г. Краснов, М. Г. Акашев // Вагоны и вагонное хоз-во (прил. к ж-лу «Локомотив»). – 2011. – № 4. – С. 38–40.
7. Краснов, О. Г. Оценка состояния пути геометрически-силовым методом на искусственных неровностях / О. Г. Краснов, М. Г. Акашев, В. М. Сасковец // Путь и путевое хоз-во. – 2012. – № 7. – С. 24–29.
8. Левинзон, М. А. Возможность и условия обращения грузовых вагонов с повышенными осевыми и погонными нагрузками (по данным диагностического поезда ВНИИЖТа) / М. А. Левинзон // Вестн. ВНИИЖТа. – 2002. – № 4. – С. 37–39.
9. Шафрановский, А. К. Непрерывная регистрация вертикальных и боковых сил взаимодействия колеса и рельса / А. К. Шафрановский // Тр. ВНИИЖТа. – 1965. – Вып. 308. – 96 с.
10. Development and implementation of performance-based track geometry inspection / D. Li, A. Meddah, K. Hass, S. Kalay // Proc. of Railway Engineering Conf. (28.06–29.06.2005). – Edinburgh : ECS Publications, 2005.
11. Johansson, A. Out-of-round railway wheels–wheel-rail contact forces and track response derived from field tests and numerical simulations / A. Johansson, J. C. O. Nielsen // Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: J. of Rail and Rapid Transit. – 2003. – Vol. 217, № 2. – P. 135–146.
12. Leong, J. Probabilistic analysis of train–track vertical impact forces / J. Leong, M. H. Murray // Proc. of the ICE-Transport. – 2008. – Vol. 161, № 1. – С. 15–21.
13. Mc Carthy, W. P. Track geometry measurement on Burlington Northern Railroad / W. P. Mc Carthy // Proc. SPIE the intern. society for optical engineering. – 1995. – 17 p.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

В. С. КОССОВ¹, А. Л. БІДУЛЯ^{1*}, О. Г. КРАСНОВ¹, М. Г. АКАШЕВ¹^{1*}ВАТ «ВНДКТІ», вул. Жовтневої революції, 410, Коломна, Російська Федерація, 140402, тел. +7 (496) 618 82 48, факс +7 (496) 618 82 27, ел. пошта vnikti@ptl-kolomna.ru¹ВАТ «ВНДКТІ», вул. Жовтневої революції, 410, Коломна, Російська Федерація, 140402, тел. +7 (496) 618 82 48, факс +7 (496) 618 82 27, ел. пошта vnikti@ptl-kolomna.ru

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ ГЕОМЕТРИЧНО-СИЛОВОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ СТАНУ КОЛІЇ

Мета. Дослідження можливості застосування геометрично-силового методу для визначення сходонебезпечних ділянок залізничної колії під час руху порожніх вагонів. У програмі випробувань було передбачено діагностування колії з урахуванням поздовжніх сил у вантажному поїзді, що діють на порожні вагони. **Методика.** Порожній вагон-мінераловоз і вагон-термоцистерна було обладнано тензометричними колісними парами, тензометричними автозчепами та іншими вимірювальними приладами і введено до складу вантажного поїзда масою 4 500 т. **Результати.** У роботі показано, що частину сходонебезпечних ділянок колії не вибраковують традиційними способами, що базуються на оцінці геометричних параметрів колії. У ході випробувань встановлено, що геометрично-силовий метод дозволяє отримувати додаткову інформацію про стан колії з позиції стійкості порожніх вагонів проти сходу. Цим методом виявляють ділянки колії, як не можна оцінити технічними засобами, що застосовують зараз на вагонах-колівимірювачах. Ділянки колії з низькими параметрами стійкості проти сходу порожніх вагонів є індивідуальними, й визначаються не тільки розмірами відступів, але і їх формою, поєднанням різних типів нерівностей, профілем і дефектністю елементів верхньої будови колії. **Наукова новизна.** Геометрично-силовий метод необхідно розглядати як додатковий до існуючої технології оцінки стану колії за геометричними параметрами, впровадження якого дозволить виявляти перерізи колії, небезпечні для руху порожніх вагонів. **Практична значимість.** Для впровадження геометрично-силового методу оцінки стану колії на мережі залізниць ВАТ «РЗ» пропонується на базі накопичених статистичних і експериментальних даних з випробувань вагонів з підвищеним центром ваги розробити спеціалізоване програмне забезпечення для вагонів-колівимірювачів, що виключає застосування в технології оцінки колії додаткового вантажного вагона з тензометричними колісними парами.

Ключові слова: тензометрична колісна пара; діагностичний поїзд; сходонебезпечний переріз колії; порожні вагони; безпека руху

V. S. KOSSOV¹, A. L. BIDULYA^{1*}, O. G. KRASNOV¹, M. G. AKASHEV¹^{1*}JSC «REDIRS», Zhovtneva revolyutsiya St., 410, Kolomna, Russian Federation, 140402, tel. +7 (496) 618 82 48, Fax +7 (496) 618 82 27, e-mail vnikti@ptl-kolomna.ru¹JSC «REDIRS», Zhovtneva revolyutsiya St., 410, Kolomna, Russian Federation, 140402, tel. +7 (496) 618 82 48, Fax +7 (496) 618 82 27, e-mail vnikti@ptl-kolomna.ru

THE FIELD TEST RESULTS OF GEOMETRIC-FORCE METHOD FOR TRACK STATE ESTIMATION

Purpose. Study the possibility of using geometrically-force method to determine sections of high risk of derailment in railway stations at empty wagons movement. In the test program track diagnosing subject to longitudinal forces in the freight train effecting empty wagons is provided. **Methodology.** To this effect empty mineral wagon and thermal cistern were equipped with strain-gauge wheel sets, strain-gauge automatic coupler and other instruments, set in the freight train weighing 4500 t. **Findings.** In the course of this work it was ascertained that the geometric-force method gives possibility to receive additional information about the track condition from the position of empty cars stability against derailment. It is shown that some sections of high risk of derailment pieces of line does not discarded by traditional ways, based on an assessment of the geometric parameters of the way. Those track sections are identified by this method, which can not be evaluated by technical means, used currently on track measurement cars. Pieces of line with low parameters on empty cars stability against derailment are individual and they are determined not only by the sizes of deviations, but their form, a combination of different types of roughness, profile and defective elements of the permanent way. **Originality.** Geometric-force method should be considered as complementary to the existing technology assessment of the way on the geometrical parameters; its implementation will allow revealing the track section, dangerous for the motion of empty wagons. **Practical value.** For the geometrically-force method realization of assessment

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

of the way in the railway network of JSC «Russian Railways» it is proposed on the basis of the accumulated statistics and experimental data in accordance with wagons tests with a high center of gravity to develop specialized software for wagons through gauges to assess ways by geometrically-force method that excludes the use in technology assessment of the additional freight wagon way with a strain-gauge wheel sets.

Keywords: strain-gauge wheel set; diagnostic train; track cross section of high risk of derailment; empty wagons; traffic safety

REFERENCES

1. Danovich V.D., Rybkin V.V., Reydemeyster A.G., Khalipova N.V., Tryakin A.P. K voprosu ob ustoychivosti protiv vkatyvaniya kolesa na rels dlya porozhnykh gruzovykh vagonov [To the question of stability against climb-on a wheel for empty freight wagons]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2004, issue 3, pp. 90-96.
2. Koval V.A., Kazhayev A.N. Metod izmereniya dinamicheskikh sil s bolshoy diskretizatsiyey po dline puti s pomoshchyu tenzometricheskoy kolesnoy pary [Method of measurement of dynamic forces with a large sampling along a path using strain gauge wheelset]. *Sbornik nauchnykh trudov "Resheniye zadach vzaimodeystviya podvizhnogo sostava i puti realnogo ochertaniya"* [Proc. of the Railway Research Institute "Problems solution of interaction rolling stock and track of the real contour"]. Moscow, 1985. pp. 49-57.
3. Korzhenevich P. Tochnost syemki plana zheleznodorozhnoy kolei i puti yeye povysheniya [Survey accuracy of the railway track plan and the ways of its improvement]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 27, pp. 116-120.
4. Kosov V.S., Berezin V.V., Bykov V.A. Faktory ustoychivosti porozhnykh vagonov [Factors of empty wagons stability]. *Mir transporta – Transport World*, 2012, no. 2, pp. 168-177.
5. Kraskov O.G. Kak vliyayut prodolno-dinamicheskiye sily na ustoychivost porozhnykh vagonov [Affect of longitudinal dynamic forces on the stability of empty wagons]. *Vagony i vagonnoye khozyaystvo (prilozheniye k zhurnalu "Lokomotiv") – Wagons and wagon fleet (Supplement to Journal "Locomotive")*, 2012, no. 4, pp. 38-39.
6. Krasnov O.G., Akashev M.G. Issledovaniye ustoychivosti porozhnykh vagonov pri dvizhenii po iskusstvennym nerovnostyam [Research of empty wagons stability under moving on artificial unevenness]. *Vagony i vagonnoye khozyaystvo (prilozheniye k zhurnalu "Lokomotiv") – Wagons and wagon fleet (Supplement to Journal "Locomotive")*, 2011, no. 4, pp. 38-40.
7. Krasnov O.G., Akashev M.G., Saskovets V.M. Otsenka sostoyaniya puti geometricheski-silovym metodom na iskusstvennykh nerovnostyakh [State value of a way by geometrically-force method on artificial unevenness]. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and track facilities*, 2012, no. 7, pp. 24-29.
8. Levinzon M.A. Vozmozhnost i usloviya obrashcheniya gruzovykh vagonov s povyshennymi oseyami i pogonnymi nagruzkami (po dannym diagnosticheskogo poyezda VNIIZhT) [Possibility and conditions for handling freight with high axial and linear loads (under the diagnostic train of Railway Research Institute)]. *Vestnik VNIIZhTa – Bulletin of the Railway Research Institute*, 2002, no. 4, pp. 37-39.
9. Shafranovskiy A.K. Nepreryvnaya registratsiya vertikalnykh i bokovykh sil vzaimodeystviya kolesa i relsa [Continuous recording of vertical and lateral forces in interaction of wheel and rail]. *Trudy VNIIZhTa – [Works of Railway Research Institute]*. Moscow, 1965, issue 308, 96 p.
10. Li D., Meddah A., Hass K., Kalay S. Development and implementation of performance-based track geometry inspection. Proc. of Railway Engineering Conf. Edinburgh, 2005.
11. Johansson A., Nielsen C.O. Out-of-round railway wheels—wheel-rail contact forces and track response derived from field tests and numerical simulations. *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2003, vol. 217, no. 2, pp. 135-146.
12. Leong J., Murray M.H. Probabilistic analysis of train-track vertical impact forces. *Proc. of the ICE-Transport*, 2008, vol. 161, no. 1, pp. 15-21.
13. Mc Carthy W.P. Track geometry measurement on Burlington Northern Railroad. *Proc. SPIE the international society for optical engineering*, 1995, p. 17.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. В. Рыбкиным (Украина); д.т.н., ст. научн. сотр. Н. А. Радченко (Украина)

Поступила в редколлегию 20.02.2013

Принята к печати 15.08.2013

УДК [656.2 : 629.439]–047.58

А. ЛАШЕР¹, М. УМАНОВ^{2*}, Е. ФРИШМАН³, Е. ПРИШЕДЬКО⁴¹Дрезденский технический университет, ул. Момсен, 13, Дрезден, Германия, D-01062, эл. почта a.lasher@gmx.de^{2*}Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, эл. почта m.umantov@mail.ru³Каф. «Электроника», Иерусалимский технологический колледж, ул. Хаваад Халеуми, 21, Иерусалим, Израиль, 91160, эл. почта f688349@netvision.net.il⁴Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», ул. Писаржевского, 5, Днепропетровск, Украина, 49005, эл. почта kheltanya@gmail.com**МЕТОДЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ
МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Цель. В настоящее время магнитолевитирующие транспортные системы (МТС) для высокоскоростного наземного транспорта (ВСНТ) практически не применяются в связи с необходимостью больших капиталовложений и увеличением эксплуатационных расходов. Цель статьи – внедрение комплексной оптимизации параметров МТС для уменьшения капиталовложений и эксплуатационных расходов, что позволит начать практическое их применение. В данной работе обосновывается целесообразность использования теории комплексной оптимизации транспорта (ТКОТ), предложенной одним из авторов, для снижения расходов в МТС. **Методика.** Согласно ТКОТ была разработана абстрактная модель обобщенной транспортной системы (АМОТС), которая математически определяет максимальное равновесие между всеми компонентами системы и тем самым обеспечивает предельную адаптацию любой транспортной системы к условиям ее применения. Для определения сфер эффективного применения МТС в соответствии с ТКОТ была разработана динамическая модель распределения и развития сфер эффективного применения транспортных систем (ДМРПСЭПТС), где для каждой отдельно взятой трассы выбирается наиболее эффективная транспортная система. Основным оценочным критерием при определении эффективности применения МТС является величина удельного перевозочного тарифа, получаемая из расчета окупаемости суммарных приведенных затрат к нормативному сроку окупаемости или сроку предоставления кредита. **Результаты.** Выполненные многовариантные расчеты четырех типов МТС: TRANSRAPID, MLX01, ТРАНСМАГ и ТРАНСПРОГРЕСС показали эффективность комплексной оптимизации параметров таких систем. Это позволило расширить сферы эффективного применения МТС примерно в 2 раза. Результаты исследований докладывались на многих международных конференциях в Германии, Швейцарии, США, Китае, Украине и др. На примере МТС в данной работе была доказана состоятельность предлагаемой комплексной оптимизации параметров транспортных систем, которая может быть использована и для других транспортных систем. **Научная новизна.** Изложенные основы комплексной оптимизации транспорта являются новой системой универсальных научных методов и подходов, обеспечивающей высокую точность и достоверность расчетов при моделировании транспортных систем и транспортных сетей с учетом динамики их развития. **Практическая значимость.** Разработка теоретических и технологических основ проведения комплексной оптимизации транспорта позволяет создать научный инструмент, обеспечивающий выполнение автоматизированного моделирования и расчета технико-экономической структуры и технологии работы различных объектов транспорта, включая его инфраструктуру.

Ключевые слова: МТС; TRANSRAPID; MLX01; ТРАНСМАГ; ТРАНСПРОГРЕСС; ТКОТ; АМОТС; ДМРПСЭПТС; электромагнитный подвес; электродинамический подвес; подвес на постоянных магнитах

Введение

Высокая капиталоемкость МТС и низкая рентабельность инвестиций в их строительство при действующих пассажиропотоках существенно ограничивают возможности применения таких систем в существующей транспортной инфраструктуре. Поэтому в данной работе обосновывается целесообразность использова-

ния теории комплексной оптимизации транспорта, предложенной одним из авторов, для снижения расходов в МТС. Это позволит повысить их шансы в конкуренции с традиционными видами транспорта на действующем рынке перевозок.

Цель

Снижение расходов МТС путем повышения их эффективности с помощью применения комплексной оптимизации их параметров.

Методика

Согласно ТКОТ была разработана абстрактная модель обобщенной транспортной системы (АМОТС), которая математически определяет максимальное равновесие между всеми компонентами системы и тем самым обеспечивает предельную адаптацию любой транспортной системы к условиям ее применения. В результате этого отсекаются все излишние расходы и обеспечивается максимальная эффективность МТС.

Также для определения сфер эффективного применения МТС в соответствии с ТКОТ была разработана динамическая модель распределения и развития сфер эффективного применения транспортных систем (ДМРПСЭПТС), где для каждой отдельно взятой трассы выбирается наиболее эффективная транспортная система. В этом случае основным оценочным критерием при определении эффективности применения МТС в сравнении с традиционными видами транспорта является величина удельного перевозочного тарифа, получаемая из расчета окупаемости суммарных приведенных затрат к нормативному сроку окупаемости.

Расчеты выполнялись применительно к четырем МТС: TRANSRAPID, MLX01, ТРАНСМАГ и ТРАНСПРОГРЕСС. TRANSRAPID – это немецкая МТС на электромагнитном подвесе; MLX01 – японская МТС на электродинамическом подвесе; ТРАНСМАГ и ТРАНСПРОГРЕСС – это украинская и российская МТС. При этом первая – это МТС на электродинамическом подвесе со сверхпроводящими магнитами и линейным синхронным приводом, разработанная в Институте транспортных систем и технологий Национальной академии наук Украины [10], а вторая – это МТС на постоянном магнитном подвесе с линейным асинхронным короткостаторным приводом, предназначенная для перевозки сыпучих грузов на горно-обогатительных и металлургических предприятиях [11].

На основе АМОТС для каждой из указанных МТС был написан отдельный алгоритм.

Расчеты TRANSRAPID и MLX01 проводились для выбранных виртуальных трасс (табл. 1) и трасс, для которых имеются ранее выполненные проекты TRANSRAPID (табл. 2).

Для ТРАНСМАГ и ТРАНСПРОГРЕСС расчеты выполнялись по массиву исходных данных, характеризующих совокупность виртуальных трасс. Для ТРАНСМАГ длина трасс была взята в диапазоне от 250 до 4 500 км, а объемы перевозок – в диапазоне от 1 до 25 млн пас. в год.

Для ТРАНСПРОГРЕСС рассматривалась длина трасс от 0,3 до 15 км при руководящем уклоне от 0 до 40 ‰ и грузопотоке от 0,1 до 0,9 млн т/год.

При пассажирских перевозках для сравнения МТС с традиционными видами транспорта были выбраны железнодорожные системы, действующие (планируемые) в направлениях, для которых выполнялись проекты трасс TRANSRAPID (табл. 3).

При грузовых перевозках МТС сравнивались с железнодорожными, автомобильными, конвейерными, канатно-подвесными и пневматическими трубопроводными транспортными системами.

Результаты

В целях выбора правильных подходов для проведения комплексной оптимизации МТС изначально была исследована зависимость их затрат от максимальной скорости поезда и конфигурации его состава.

По результатам проведения комплексной оптимизации МТС была дана их оценка по двум критериям: снижение расходов МТС и расширение сфер их применения в сравнении как с железнодорожным транспортом (для пассажирских перевозок), так и с другими видами традиционного транспорта (для грузовых промышленных перевозок). При этом была определена граница между сферами эффективного применения TRANSRAPID и MLX01.

Выбор оптимальной скорости поезда. Результаты моделирования виртуальных трасс MLX01 и TRANSRAPID показали, что при коротких расстояниях между остановками поезда не может достигнуть максимальной технической скорости (табл. 4). Поскольку, разогнав-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

шись до возможной скорости, поезд сразу начинает тормозить, то повышения его скорости можно достичь только за счет увеличения ускорения разгона и торможения экипажей. Так как короткие расстояния между остановками свойственны трассам регионального и пригородного сообщения, в поездах которых имеются стоячие места, то увеличение ускорения и замедления экипажей свыше 1 м/с^2 в этом случае недопустимо.

Даже при допустимых значениях ускорения и замедления экипажей скорость поезда является далеко не оптимальной. Это обусловлено тем, что изначально для расчета конфигурации транспортной системы задается максимальная техническая скорость ее поездов, которой они не достигают.

Но неиспользованная разница в скоростях – это дополнительные: мощности линейного привода и подстанций, затраты на их обслуживание, потребляемая электроэнергия и так далее.

В этой связи наиболее целесообразно привести в соответствие задаваемую для расчетов максимальную проектную скорость поезда с его реальной скоростью разгона на участке между двумя остановками.

Как видно из табл. 4, при увеличении мощности линейного двигателя, позволяющего разгонять поезд с постоянным ускорением 1 м/с^2 , его максимальная скорость из-за короткого расстояния между остановками не превысит 412 км/ч . При этом начальная мощность двигателя увеличится в 2,7 раза, а удельная стоимость проезда возрастет до 6,68 цента евро/чел.-км из расчета увеличения суммарных приведенных затрат к сроку их окупаемости на 1,11 млрд евро (до 37,62 млрд евро). Само же время перевозок между конечными пунктами сократится лишь на 1 мин.

Это приводит к незначительному увеличению времени перевозок, но в сравнении с полученным экономическим эффектом такое решение является абсолютно оправданным (табл. 5).

Следовательно, оптимизация максимальной скорости разгона поезда является важным фактором повышения эффективности МТС для трасс регионального и пригородного сообщения.

Выбор оптимальной конфигурации состава поезда. В процессе расчета оптимального удельного проездного тарифа MLX01

и TRANSRAPID для трассы MÜNCHEN была выявлена его зависимость от увеличения состава поезда, выраженная скачкообразным понижением тарифа с увеличением амплитуды и длины каждого последующего скачка (рис. 1).

При этом увеличение количества секций в составе поезда имеет свое ограничение, после которого уже не обеспечивается заданный в проекте коэффициент заполнения вагонов.

Аналогичная тенденция была выявлена при исследованиях системы ТРАНСМАГ, но в рамках данной работы не исследовались причины возникновения вышеуказанной зависимости.

Исходя из этого следует, что выбор оптимальной конфигурации поезда существенно влияет на эффективность МТС.

Анализ комплексной оптимизации ТРАНСМАГ. После проведения комплексной оптимизации ТРАНСМАГ [5] были получены величины удельного тарифа на перевозку одного пассажира на 1 км в зависимости от объема перевозок и длины трассы (рис. 2).

В результате сравнения полученных тарифов с тарифами МТС ТРАНСМАГ до ее комплексной оптимизации (рис. 3) было выявлено более чем двукратное снижение необходимого объема перевозок при фиксированном значении удельного перевозочного тарифа 1,2 цента США/пас.-км (табл. 6).

Отсюда следует, что при фиксированном объеме годовых перевозок 16 млн пассажиров в год величина перевозочного тарифа после комплексной оптимизации ТРАНСМАГ примерно в 2,11 раза ниже тарифа, действовавшего до ее оптимизации (табл. 7).

Таким образом, было достигнуто 52,5 % уменьшения суммарных приведенных расходов к нормативному сроку их окупаемости. Снижение капитальных вложений и эксплуатационных затрат определяет экономическую эффективность комплексной оптимизации ТРАНСМАГ.

Более детальный структурный анализ снижения расходов в ТРАНСМАГ представлен в табл. 8. Из него видно, что наибольшая часть снижения расходов приходится на эксплуатационные затраты.

Таким образом, проведенный анализ показал существенное повышение эффективности МТС ТРАНСМАГ в результате осуществления ее комплексной оптимизации [12].

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Анализ комплексной оптимизации MLX01 и TRANSRAPID. Для проведения расчетов MLX01 и TRANSRAPID в их модели были введены исходные данные из наиболее известных проектов трасс TRANSRAPID. На рис. 4–11 для каждой из трасс по ее основным параметрам представлены результаты моделирования MLX01 и TRANSRAPID, а также ранее полученные результаты при выполнении технико-экономического обоснования вышеуказанных проектов.

Анализ данных, полученных в результате комплексной оптимизации TRANSRAPID, показал, что при одновременном улучшении скоростных показателей была повышена его экономическая эффективность в сравнении с проектными данными трасс (рис. 12–13).

Также было установлено, что увеличение максимального числа секций в составе поезда от его базовой конфигурации приводит к дополнительному снижению затрат исследуемых МТС в среднем на 3,2 процента.

Данные результаты вполне сопоставимы с величиной экономической эффективности, полученной при проведении комплексной оптимизации ТРАНСМАГ (52,5 %), что подтверждает достоверность полученных результатов.

Определение сфер эффективного применения исследуемых МТС. Сферы эффективного применения МТС определяются в данной работе по пяти направлениям.

1. Влияние среднего расстояния между остановками на приведенные затраты.

При осуществлении комплексной оптимизации MLX01 и TRANSRAPID была выявлена зависимость их затрат от среднего расстояния между остановками на трассе.

С увеличением этого расстояния тариф возрастает до тех пор, пока скорость разгона поезда не достигает его максимальной технической допустимой величины, а затем начинает медленно падать (рис. 16). При этом энергозатраты постоянно растут.

Исходя из этого можно сделать вывод, что наиболее эффективным будет применение MLX01 и TRANSRAPID на трассах со средним расстоянием между остановками от 10 до 15 км, что соответствует в основном региональному и пригородному сообщению.

Определение границы между сферами эф-

фективного применения MLX01 и TRANSRAPID. Результаты моделирования проектных трасс показали, что для всех случаев экономически целесообразным будет применение TRANSRAPID в сравнении с MLX01 (см. рис. 11). Но было выявлено, что при дальнейшем увеличении объемов годовых пассажиропотоков (от заданных в проектах) для трасс сообщения «город-аэропорт» (Мюнхен и Шанхай), наиболее эффективным становится применение MLX01 (табл. 9).

Также было установлено, что при последующем увеличении годовых пассажиропотоков существует предел их роста, когда предусмотренная в проекте конфигурация МТС технически уже не может удовлетворять действующим на трассе потребностям в перевозках. Расчеты показали, что для всех трасс (за исключением Шанхай-Ханчжоу) порог применения MLX01 по максимальному объему перевозок выше, чем у TRANSRAPID (рис. 14).

Для всех вариантов расчета были взяты постоянные величины максимальной конфигурации состава поезда MLX01 (6 секций) и TRANSRAPID (10 секций), рассчитанные на 50-й год эксплуатации трассы. Данные конфигурации состава поездов были оптимизированы только под виртуальные трассы длиной 456,5 км со средним расстоянием между остановками 13,4 км, и в дальнейшем, с изменением расстояния между остановками, заданные конфигурации не менялись.

Таким образом, можно сказать, что при малых пассажиропотоках TRANSRAPID является наиболее эффективным для всех проектных трасс.

При объемах перевозок от 8 млн пассажиров в год и выше наиболее эффективным для трасс сообщения «город-аэропорт» становится MLX01.

В зависимости от трассы, граница технического применения проектной конфигурации TRANSRAPID находится в диапазоне от 34,5 до 124,4 млн пассажиров в год, а MLX01 – в диапазоне от 35,5 до 127 млн пассажиров в год.

3. Определение границы между сферами эффективного применения TRANSRAPID и железнодорожного транспорта.

Так как при заданных объемах перевозок (см. табл. 2) TRANSRAPID оказался для всех проектных трасс эффективней MLX01, то в этой связи TRANSRAPID был выбран для сравнения с железнодорожным транспортом,

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

действующим на указанных направлениях (см. табл. 3).

Сначала было проведено сравнение удельных тарифов железнодорожного транспорта с проектными тарифами TRANSRAPID. Затем тарифы железнодорожного транспорта были сравнены с расчетными тарифами TRANSRAPID, полученными в результате его комплексной оптимизации путем моделирования.

В первом случае применение TRANSRAPID оказалось эффективным только на 2 из 6 трасс, а во втором случае – на 4 из 6 трасс (табл. 10).

Это значит, что в результате комплексной оптимизации TRANSRAPID сфера его эффективного применения расширилась за счет железнодорожного транспорта вдвое.

4. Определение границы между сферами эффективного применения ТРАНСМАГ и железнодорожного транспорта.

Как видно из рис. 2 и 3, плоскость, характеризующая удельный проездной тариф МТС ТРАНСМАГ (1,2 цента США/пас. км), ограничивает сферу ее эффективного применения по величине годовых пассажиропотоков. После комплексной оптимизации ТРАНСМАГ данная граница сместилась с 15–17 до 3–9,5 млн пассажиров в год (см. табл. 6) и тем самым в два с половиной раза расширилась сфера его эффективного применения.

5. Определение сферы эффективного применения ТРАНСПРОГРЕСС в сравнении с традиционными видами транспорта при перевозке сыпучих грузов в условиях промышленных предприятий.

Для определения сферы эффективного применения МТС по сравнению с традиционными транспортными системами при перевозке сыпучих грузов в условиях горно-обогатительных комбинатов и металлургических предприятий Украины был выбран ТРАНСПРОГРЕСС.

В этом случае основным оценочным критерием при определении эффективности применения maglev-систем в сравнении с традиционными видами транспорта является величина удельного перевозочного тарифа, получаемого из расчета окупаемости суммарных приведенных затрат к нормативному сроку окупаемости.

Для проведения комплексной оптимизации ТРАНСПРОГРЕСС под него была адаптирована абстрактная модель обобщенной транспортной системы с учетом методики расчета его технико-экономических показателей [4] и выполнением предварительной оптимизации [11]. Расчет технико-экономических параметров остальных сравниваемых традиционных промышленных транспортных систем выполнялся по методикам [1–2].

Результаты расчетов показали, что из сравниваемых систем сферы эффективного применения разделились между: ТРАНСПРОГРЕСС, канатно-подвесной и пневматической трубопроводной транспортными системами (рис. 15, а). Остальные транспортные системы оказались не конкурентоспособными.

Из дальнейших расчетов были последовательно отключены канатно-подвесная (рис. 15, б), пневматическая трубопроводная (рис. 15, в) и конвейерная транспортные системы. В результате оказалось, что при каждом очередном отключении сфера эффективного применения ТРАНСПРОГРЕСС расширяется, а после отключения конвейерной транспортной системы ТРАНСПРОГРЕСС остается единственным эффективным транспортным средством в сравнении с оставшимися автомобильной и железнодорожной транспортными системами.

При этом во всех случаях применения ТРАНСПРОГРЕСС наиболее оптимальной для состава поездов оказалась конфигурация непрерывного (замкнутого) типа, что технически вполне соответствует условиям перевозок на горно-обогатительных комбинатах и металлургических предприятиях.

Таким образом, на примере комплексной оптимизации ТРАНСПРОГРЕСС была обоснована конкурентоспособность применения МТС в горно-обогатительных комбинатах и металлургических предприятиях при перевозке сыпучих грузов. Также была наглядно представлена возможность определения сфер эффективного применения сравниваемых транспортных систем с учетом возможного их изменения.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Таблица 1

Исходные данные для моделирования виртуальных трасс MLX01 и TRANSRAPID

Параметр	Единицы измерения	MLX01	TRANS-RAPID
Длина трассы	км	456,5	
Количество станций на трассе	шт.	34	
Среднее расстояние между остановками	км	13,04	
Вид трассы	—	Незамкнутая (линейная) трасса	Замкнутая (кольцевая) трасса ¹
Максимальный продольный уклон трассы	‰	5	
Руководящий уклон трассы	‰	2	
Доля протяженности мостов на трассе ²	%	11	8
Доля протяженности туннелей на трассе	%	5	
Доля протяженности на трассе путевой структуры в виде эстакады без опор, установленной на поверхности земли	%	20	25
Доля протяженности на трассе путевой структуры в виде эстакады на опорах	%	75	70
Годовой пассажиропоток по обоим направлениям	млн пас.	25	
Годовой рост пассажиропотока	%	2	
Годовой грузопоток по обоим направлениям	млн т	1,15	
Годовой рост грузопотока	%	3	
Годовые проценты под кредит на строительство трассы	%	3	
Нормативный срок окупаемости понесенных расходов (срок действия выданного кредита)	годы	30	
Допустимое значение ускорения поезда, min/max	м/с ²	0,2/1	
Нормативное значение равномерного ускорения и замедления поезда	м/с ²	1	

¹ Приблизительные данные.² На мостах путевая структура уложена прямо на пролётные строения.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Таблица 2

Исходные проектные данные различных трасс TRANSRAPID

Параметр	Единица измерения	Проект					
		METRO-RAPID	MÜNCHEN	SHANGHAI	SHANGHAI-HANGZHOU Maglev Line	HAMBURG-BERLIN	SIC ¹
Трасса	Конечные остановки	Düsseldorf Hbf– Dortmund Hbf	München Hbf– München Flughafen	Longyang Road Station– Flughafen Pudong	Longyang Road Station – Hangzhou East Station	Hamburg Hbf – Berlin Lehrter Bf	Berlin Papestraße – Budapest
Длина трассы	км	78,9	36,8	30	163	292	884
Количество станций на трассе	шт.	7	2		6	5	10
Среднее расстояние между остановками	км	13,15	36,8	30	32,60	73	98,22
Максимальный продольный уклон трассы	‰	30	80	19	40	100	
Руководящий уклон трассы	‰	4 ¹	7 ¹	5	4 ¹	5 ¹	6
Доля протяженности мостов на трассе ²	%	3 ³	5,8 ⁴	1,24	3 ³	1,7 ⁵	1,2
Доля протяженности туннелей на трассе	%	5,06	20	0	14,72 ⁶	0,62	0,8 ⁷
Доля протяженности на трассе путевой структуры в виде эстакады без опор, установленной на поверхности земли	%	72,46	47	1,24	30 ³	32,77	65,2
Доля протяженности на трассе путевой структуры в виде эстакады на опорах	%	22,48	33	98,76	55,28 ³	66,61	34
Годовой пассажиропоток по обоим направлениям	млн пас.	34,37	7,86	10	33	10,5	6,1
Годовой рост пассажиропотока	%	4,5	3,5	4,3	6,2	3,2	1,6
Нормативный срок окупаемости понесенных расходов (срок действия выданного кредита) ⁸	годы	20		27	31	20	50 ⁹
Годовые проценты под кредит на строительство трассы	%	5 ¹⁰		2,81	5,34	5 ¹⁰	4,37 ¹¹

¹ Приблизительные данные.² На мостах путевая структура уложена прямо на пролетные строения.³ Данные, генерированные логико-аналитическим методом.⁴ Три моста.⁵ Общая длина 4,7 км [11].⁶ 24 км туннель на 32 км участке [7].⁷ Пять туннелей общей длиной 6,3 км [5].

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

⁸ С момента ввода трассы в эксплуатацию.⁹ За общий расчетный срок в проекте 50 лет (из которых 10 лет приходятся на проектно-строительные работы и 40 лет на фазу эксплуатации) не была обеспечена окупаемость суммарных понесенных расходов, поэтому для достижения данной цели срок эксплуатации трассы был увеличен на 10 лет [5].¹⁰ Приравнивается к усредненной дисконтной ставке ~ 5 % [10].¹¹ 3 % – чистый дисконтированный доход + 1,37 % внутренняя прибыль [5].

Таблица 3

Параметры железнодорожных транспортных систем применительно к исследуемым трассам

Параметр	Единица измерения	Проект					
		METRO-RAPID	MÜNCHEN	SHANGHAI	SHANGHAI-HANGZHOU Maglev Line	HAMBURG-BERLIN	SIC!
Название железнодорожной транспортной системы	–	ICE: InterCity-Express	S-Bahn: скоростная электричка	U-Bahn: метро	высокоскоростной поезд	ICE: InterCity-Express	ICE: InterCity-Express
Время поездки между конечными остановками	мин	59	40	39 ¹	45	126	316
Удельная величина тарифа перевозки 1 пассажира на 1 км пути (вагон 2-го класса)	цент евро/пас.-км	29	26	6	6	24	16

¹ Приблизительные данные.

Таблица 4

Расчетные параметры MLX01 и TRANSRAPID, полученные при моделировании их виртуальных трасс

Параметр	Единица измерения	MLX01		TRANSRAPID	
		без оптимизации скорости движения	с оптимизацией скорости движения	без оптимизации скорости движения	с оптимизацией скорости движения
Максимальная задаваемая (проектная) скорость поезда	км/ч	550	383	500	259
Максимальная скорость разгона поезда на трассе	км/ч	412		388 ²	259
Крейсерская скорость движения поезда на трассе	км/ч	162,8	161,6		134,6
Время поездки поезда между конечными остановками	мин	133,3	134,5		168,5
Количество вагонов в составе поезда (на 1-й/50-й год эксплуатации трассы)	секция	4/10		2/6	
Максимальная мощность линейного двигателя поезда	МВт	64,78	24,09	30,34	6,61

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Окончание табл. 4

Параметр	Единица измерения	MLX01		TRANRAPID	
		без оптимизации скорости движения	с оптимизацией скорости движения	без оптимизации скорости движения	с оптимизацией скорости движения
Удельные энергозатраты, приходящиеся на перевозку 1 пассажира на 1 км пути, с учетом рекуперации электроэнергии при торможении поезда	Вт·ч/чел.-км	72,5	70,3	53,5	36,2
Удельные общие капитальные вложения, приходящиеся на 1 км пути	млн евро/км	33,78	22,06	26,59	16,43
Суммарные приведенные расходы к моменту их окупаемости (выплаты полученного кредита)	млрд евро	51,27	41,67	36,51	28,32
Усредненные эксплуатационные затраты, приходящиеся на перевозку 1 пассажира на 1 км пути	центы евро/чел.-км	4,79	4,47	3,26	2,88
Удельный тариф на перевозку 1 тонны груза на 1 км пути	центы евро/т·км	81,47	66,21	54,78	42,49
Удельная величина тарифа перевозки 1 пассажира на 1 км пути	центы евро/чел.-км	6,68	5,43	4,93	3,83

Таблица 5

Результаты оптимизации скорости движения поездов на виртуальных трассах MLX01 и TRANSRAPID с короткими расстояниями между остановками

Параметр	Единица измерения	MLX01	TRANRAPID
Увеличение времени поездки в один конец трассы после оптимизации скорости движения поезда	мин/%	1,2/0,9	34/25,28
Величина изменения удельных энергозатрат после оптимизации скорости движения поезда	%	– 3,03	– 32,34
Величина изменения общих капитальных вложений после оптимизации скорости движения поезда	%	– 34,7	– 38,21
Величина изменения удельных эксплуатационных затрат после оптимизации скорости движения поезда	%	– 6,68	– 11,66
Величина изменения удельного проездного тарифа после оптимизации скорости движения поезда	%	– 18,71	– 22,31
Экономический эффект после оптимизации скорости движения поезда к моменту самоокупаемости суммарных понесенных расходов (выплаты полученного кредита)	млрд евро	9,6	8,19

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Таблица 6

Определение эффективности комплексной оптимизации ТРАНСМАГ по снижению объема перевозок при фиксированном значении проездного тарифа

Параметр	Единица измерения	До оптимизации	После оптимизации
Удельный проездной тариф	центы США/ пас.-км	1,2	
Нормативный срок окупаемости	годы	10	
Диапазон объема перевозок в оба конца в зависимости от длины трассы	млн пас./год	15...17	3...9,5
Среднеарифметическое значение объема перевозок в оба конца	млн пас./год	16	6,25
Коэффициент снижения минимального объема годовых перевозок, для обеспечения окупаемости понесенных расходов к нормативному сроку окупаемости	разы	0	2,56

Таблица 7

Определение эффективности комплексной оптимизации ТРАНСМАГ по снижению значения удельного проездного тарифа при фиксированном значении объема годовых перевозок в оба конца

Параметр	Единица измерения	До оптимизации	После оптимизации
Объем перевозок в оба конца	млн пас./год	16	
Диапазон тарифов при заданном объеме годовых перевозок в зависимости от длины трассы	центы США/ пас.-км	1,1...1,3	0,5...0,8
Среднеарифметическое значение тарифа	центы США/ пас.-км	1,2	0,57
Коэффициент снижения тарифа при заданном объеме годовых перевозок	разы	1	2,11
Доля снижения суммарных приведенных расходов к нормативному сроку окупаемости	%		52,5
Доля капитальных вложений от суммарных приведенных расходов к нормативному сроку окупаемости	%	27,48	47,39
Доля общих эксплуатационных затрат от суммарных приведенных расходов	%	72,52	52,61

Таблица 8

Структура снижения затрат к нормативному сроку в МТС ТРАНСМАГ после комплексной оптимизации

Параметр	Единица измерения	Капитальные вложения	Эксплуатационные затраты
Процент снижения затрат от начальных величин, полученных до оптимизации	%	18,07	65,53
Доля снижения затрат от величины суммарных приведенных расходов, полученной до оптимизации	%	4,96	47,54

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Окончание табл. 8

Параметр	Единица измерения	Капитальные вложения	Эксплуатационные затраты
Доля снижения затрат от общей суммы сэкономленных средств	%	9,5	90,5
Усредненная доля снижения годовых эксплуатационных затрат от величины суммарных приведенных расходов, полученных до оптимизации	%	Отсутствует	4,75
Усредненная доля снижения годовых эксплуатационных затрат от общей суммы сэкономленных средств	%	Отсутствует	9,06

Таблица 9

Граница между сферами эффективного применения TRANSRAPID и MLX01

Параметр	Единица измерения	Проект					
		METRO-RAPID	MÜNCHEN	SHANGHAI	SHANGHAI-HANGZHOU Maglev Line	HAMBURG-BERLIN	SICI
Граничный годовой пассажиропоток в оба направления, при котором более эффективным становится MLX01	млн пас.	Нет	8	11	Нет	Нет	Нет
Удельная величина тарифа перевозки 1 пассажира на 1 км пути (вагон 2-го класса) ¹	TRANS-RAPID	Отсутствует	34,48	11,81	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
	MLX01		29,08	11,44			

¹ Проездные тарифы были рассчитаны с учетом коэффициентов: освоения опыта эксплуатации новой трассы, дисконтирования (приведения разновременных затрат) и получения дополнительной прибыли.

Таблица 10

Граница между сферами эффективного применения TRANSRAPID и железнодорожного транспорта по величине проездного тарифа

Параметр	Единица измерения	Проект					
		METRO-RAPID	MÜNCHEN	SHANGHAI	SHANGHAI-HANGZHOU Maglev Line	HAMBURG-BERLIN	SICI
При сравнении с проектными данными	Транспортная система	TRANS-RAPID	S-Bahn (скоростная электричка)	U-Bahn (метро)	Высоко-скоростной железнодорожный поезд	TRANS-RAPID	ICE (Inter-City-Express)
При сравнении с результатами моделирования					TRANS-RAPID		TRANS-RAPID

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

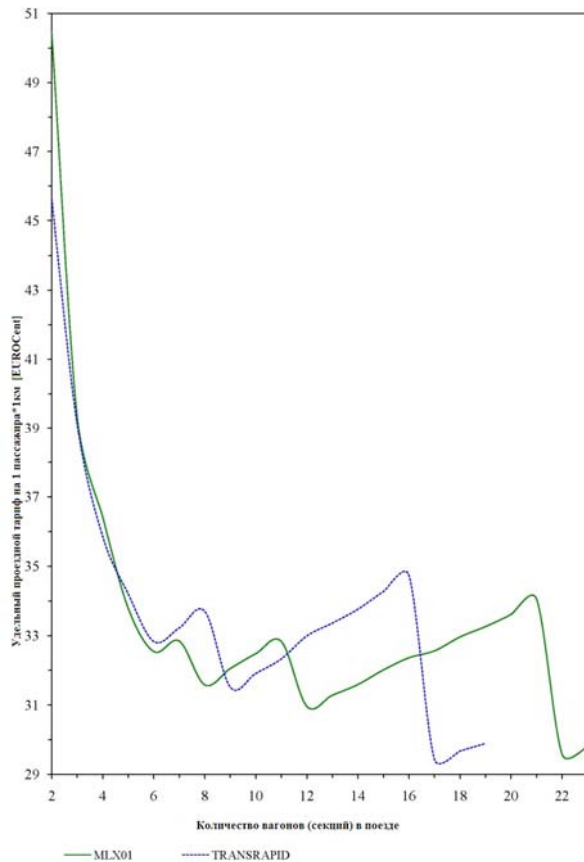


Рис. 1. Зависимость удельного проездного тарифа от конфигурации поезда

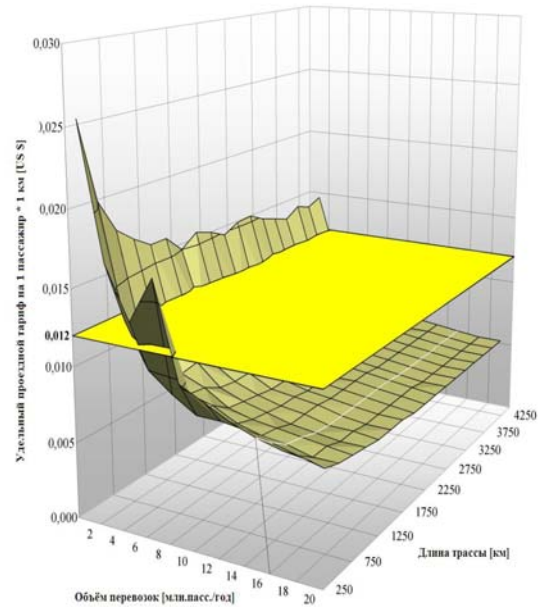


Рис. 2. Зависимость значения удельного проездного тарифа ТРАНСМАГ от объема перевозок и длины трассы после ее комплексной оптимизации [11]

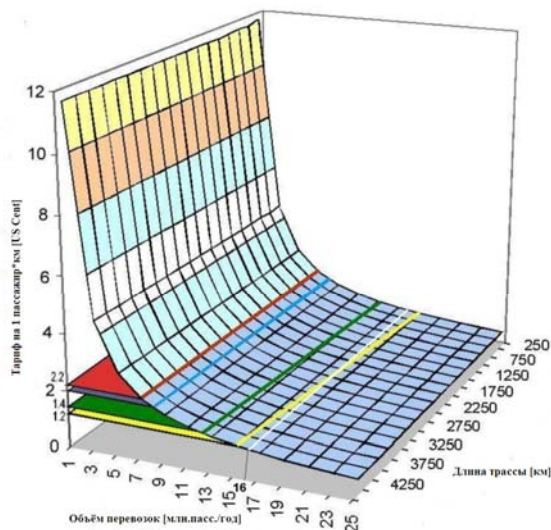


Рис. 3. Зависимость значения удельного проездного тарифа ТРАНСМАГ от объема перевозок и длины трассы до ее комплексной оптимизации [12]

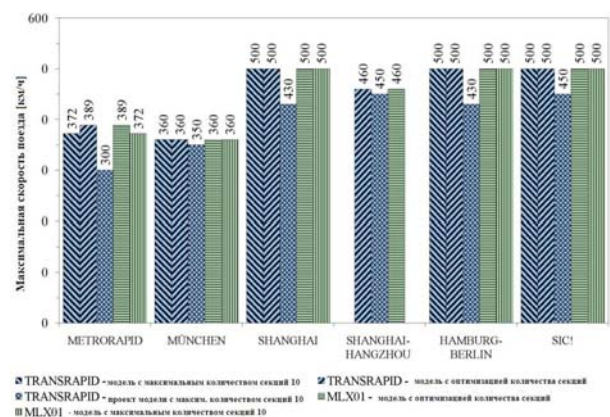


Рис. 4. Максимальная скорость разгона поезда на трассе

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

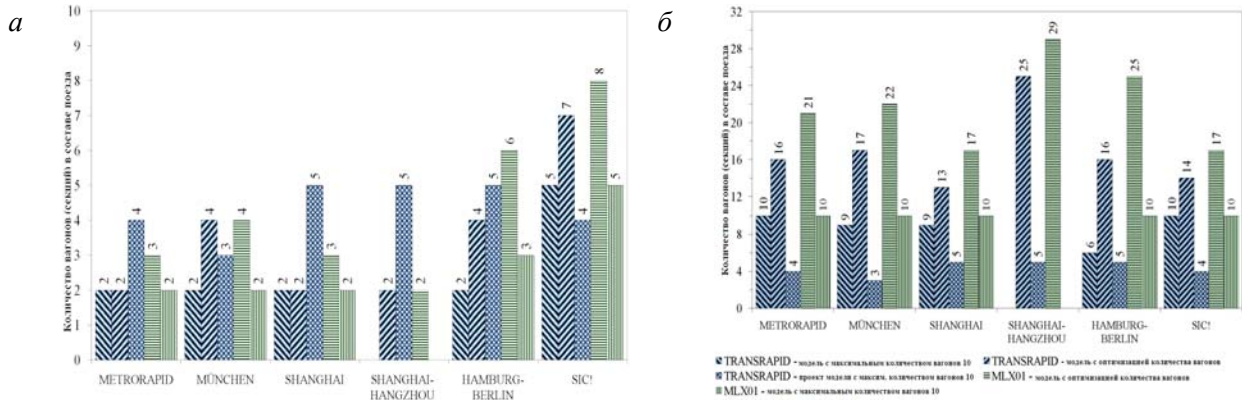


Рис. 5. Количество вагонов в составе поезда:

а – на первый год эксплуатации трассы; б – на 50-й год эксплуатации трассы

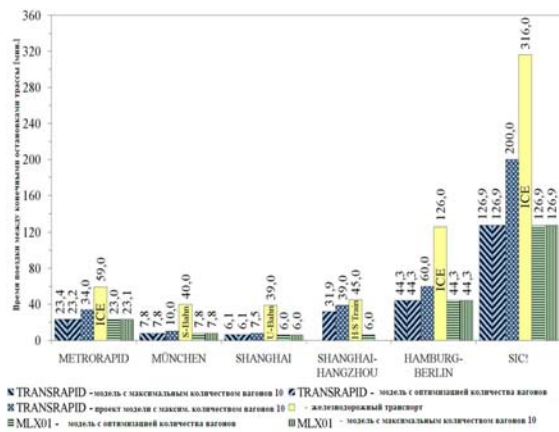


Рис. 6. Время поездки между конечными остановками трассы

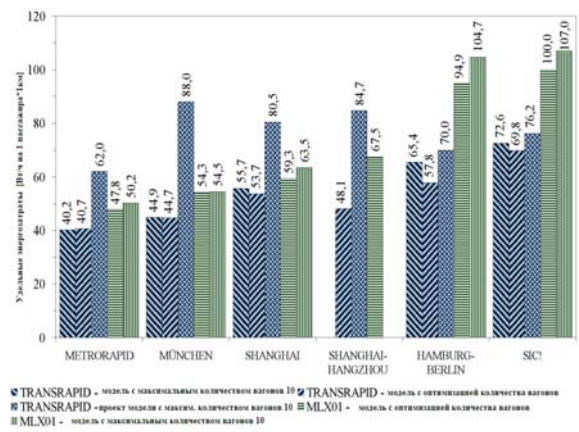


Рис. 7. Удельные энергозатраты на перевозку 1 пассажира на 1 км пути с учетом рекуперации электроэнергии при торможении поезда

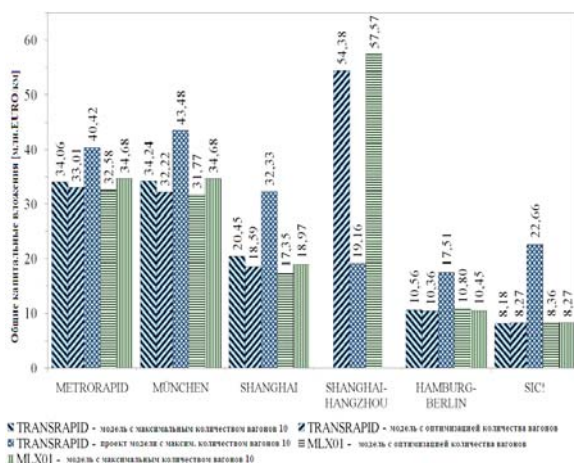


Рис. 8. Средние капитальные вложения, приходящиеся на 1 км пути

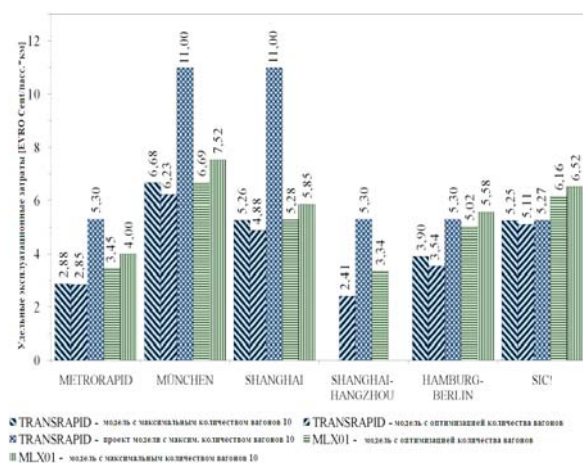


Рис. 9. Средние удельные эксплуатационные затраты, приходящиеся на перевозку 1 пассажира на 1 км пути

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

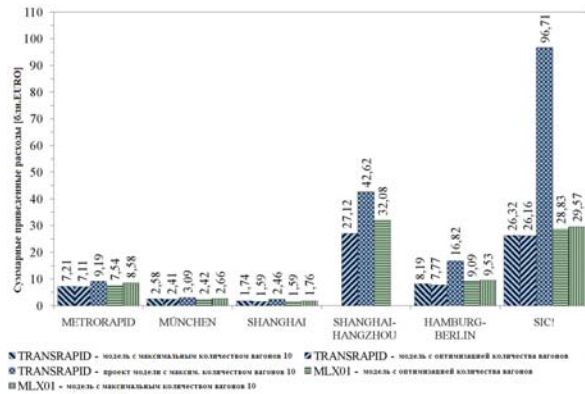


Рис. 10. Суммарные приведенные расходы трассы к моменту их окупаемости (выплаты полученного кредита)

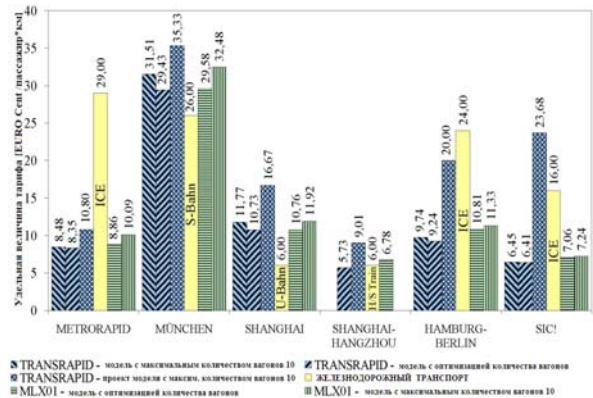


Рис. 11. Средняя удельная величина тарифа перевозки 1 пассажира на 1 км пути (вагон 2-го класса)

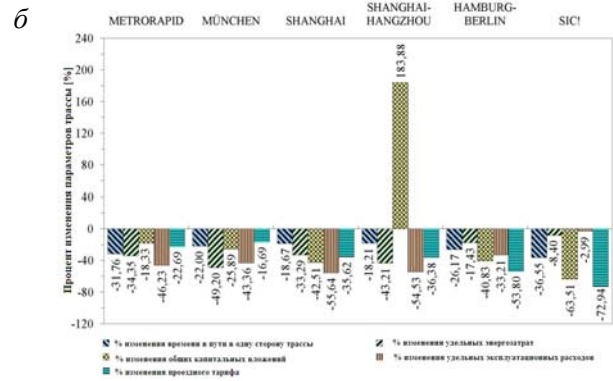
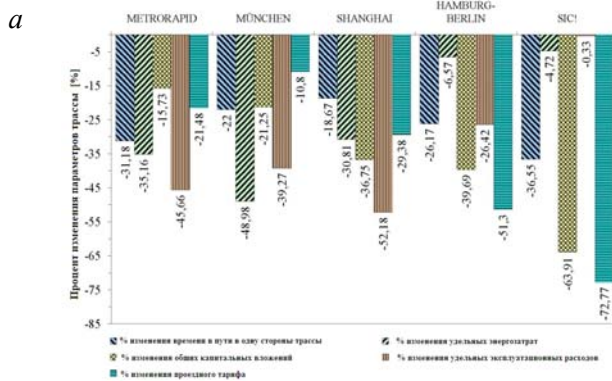


Рис. 12. Процент изменения параметров трасс вследствие комплексной оптимизации TRANSRAPID, полученный путем сравнения результатов моделирования с проектными данными: а – при базовой конфигурации поезда; б – при неограниченной конфигурации поезда

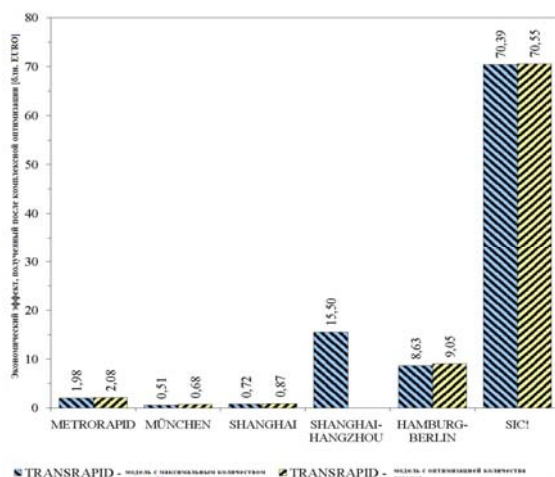


Рис. 13. Экономический эффект к моменту самоокупаемости суммарных понесенных расходов (выплаты полученного кредита), полученный при комплексной оптимизации TRANSRAPID

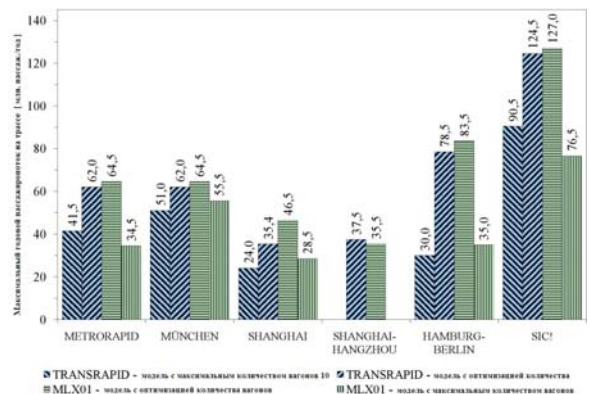


Рис. 14. Максимальный годовой пассажиропоток на трассе, предусмотренный проектной конфигурацией транспортной системы

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

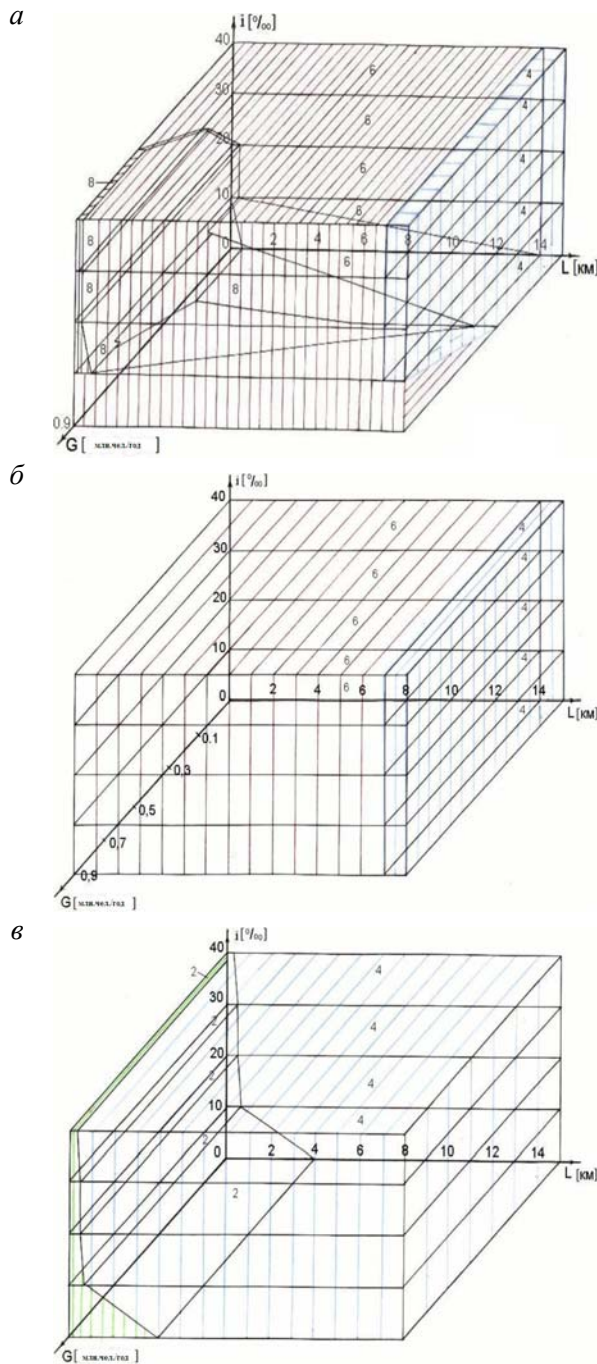


Рис. 15. Области эффективного применения TRANSPROGRESS в сравнении с канатно-подвесной и пневматической трубопроводной (а), пневматической трубопроводной (б) и конвейерной (в) транспортными системами: штриховка – конвейерная транспортная система (2); штриховка – TRANSPROGRESS (4); штриховка – пневматическая трубопроводная транспортная система (6); штриховка – канатно-подвесная транспортная система (8); G – годовой грузопоток на трассе; L – длина трассы; I – руководящий уклон трассы

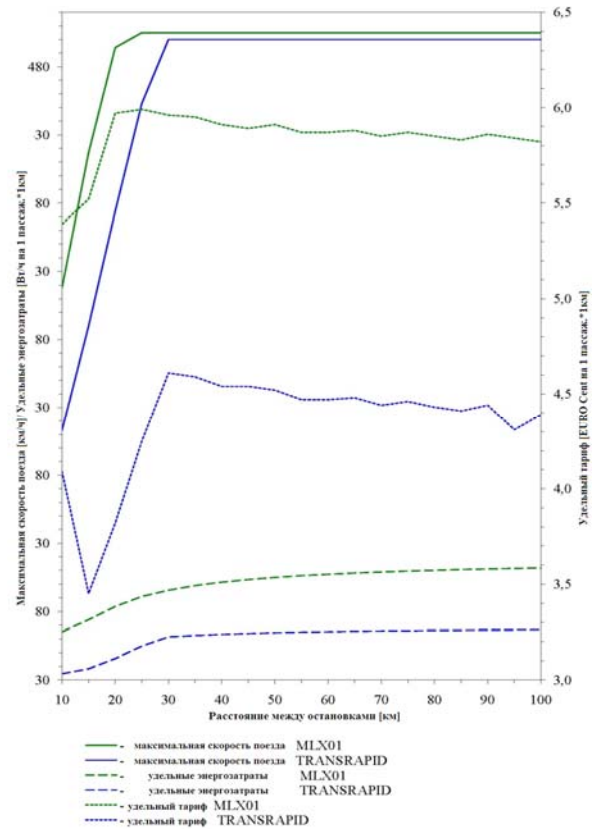


Рис. 16. Зависимость удельных энергозатрат и удельного проездного тарифа от расстояния между остановками

Научная новизна и практическая значимость

Изложенные основы комплексной оптимизации транспорта являются новой системой универсальных научных методов и подходов, обеспечивающей высокую точность и достоверность расчетов при моделировании транспортных систем и транспортных сетей с учетом динамики их развития. Сформулированные на основе системного анализа способы описания сложных транспортных систем и методы их структурированного моделирования позволяют существенно сократить время на выработку и повысить качество принимаемых в проблемных областях решений.

Представленные основы теории комплексной оптимизации транспорта формируют новый научный взгляд на проблему разработки, проектирования и развития транспортных систем и инфраструктур как в локальном, так и глобальном масштабе, что в свою очередь выведет указанные направления исследований на качественно новый уровень.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Разработка теоретических и технологических основ проведения комплексной оптимизации транспорта позволяет создать научный инструмент, обеспечивающий выполнение автоматизированного моделирования и расчета технико-экономической структуры и технологии работы различных объектов транспорта, включая его инфраструктуру. Предложенные методы и подходы могут быть использованы при решении многих практических и теоретических задач, связанных с транспортом, а также при проведении микро- и макроэкономических исследований. Использование всех перечисленных возможностей позволит создать наиболее благоприятную среду для эффективного применения и развития транспорта в целом, а следовательно всего народного хозяйства и общественных отношений.

Выводы

На примере МТС в данной работе была доказана состоятельность предлагаемой комплексной оптимизации транспортных систем, что позволит существенно повысить эффективность различных транспортных систем и тем самым расширить сферы их эффективного применения.

Она может быть использована не только для МТС, но и для других транспортных систем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гельман, А. С. Справочник проектировщика промышленных дорог. Т. 1: Промышленный транспорт / А. С. Гельман. – М.: Стройиздат, 1972. – 232 с.
2. Размеры удельных капиталовложений, эксплуатационных затрат и металлоемкости по различным видам транспорта. Методические указания. – М.: Транспорт, 1984. – 206 с.
3. Уманов, М. И. Определение оптимальной грузоподъемности экипажа транспортной системы с использованием магнитной подвески на постоянных магнитах / М. И. Уманов, Е. М. Фришман, А. Н. Лашер // Трансп.: наука, техника, упр. – 1991. – № 8. – С. 18–21.
4. Фришман, Е. М. Экономичны ли транспортные системы с подвесом грузовых тележек на постоянных магнитах? / М. И. Уманов, Е. М. Фришман, А. Н. Лашер // Подъемно-транспортная техника и склады. – 1991. – № 1, Н. 217. – С. 41–42.
5. Complex optimization of parameters of Maglev systems is a basic condition of their implementation / A. Lascher, M. Umanov, E. Frishman, H. Prishedko // Magnetically Levitated Systems and Linear Drivers : 19th Intern. Conf. (September 13–15, 2006). – Dresden, 2006. – P. 721–725.
6. Endbericht SIC! - Modul Vergleichende Untersuchung von Hochgeschwindigkeits-systemen im Verkehrskorridor Berlin - Sachsen - Praha - Wien - Bratislava – Budapest [Electronic resource]. – 2007. – 282 p. – Mode of access: http://www.landesentwicklung.sachsen.de/download/Landesentwicklung/Endbericht_SIC-Modul.pdf/. – Title from the screen.
7. Heckl, F. X. Infoblatt TRANSRAPID in Shanghai / F. X. Heckl. – Leipzig : Klett, 2010. – 193 p.
8. Heilmeyer, E. Magnetschwebbahnsysteme für hohe Geschwindigkeiten in Deutschland und Japan, Vergleich der Entwicklungsverläufe und der technischen und ökonomischen Merkmale / E. Heilmeyer, D. Rogg // Elektrische Bahnsysteme : 2th Intern. Conf. (March 23–24, 1999). – Berlin, 1999. – P. 331–339.
9. Obermeyer / Krebs and Kiefer & Spiekermann / Vössing. Machbarkeitsstudie für Magnetschnellbahnstrecken in Bayern und Nordrhein-Westfalen. Planungsgemeinschaft “Metrorapid-TRANSRAPID”. Teil II - Teilprojekt Bayern, Erläuterungsbericht und Teil III - Teilprojekt Nordrhein-Westfalen, Erläuterungsbericht. Berlin, 2002. – 480 p.
10. Prykhodko, O. A. On the calculation of aerodynamic characteristics of high-speed ground vehicles on the base of three-dimensional navier-stokes equations / O. A. Prykhodko, O. B. Polevoy, A. V. Menddriy // Magnetically Levitated Systems and Linear Drivers : 18th Intern. Conf. (October 26–28, 2004). – Shanghai, 2004. – P. 575–583.
11. Stephan, A. Optimization of lengths of maglev trains / A. Stephan, A. Lascher, M. Umanov // Magnetically Levitated Systems and Linear Drivers : 20th Intern. Conf. (15–18 December, 2008). – San Diego, 2008.
12. Umanov, M. Ways of increase of efficiency of Maglev-transport with the purpose of acceleration of its introduction / M. Umanov, A. Lascher, A. Taturjevich // Magnetically Levitated Systems and Linear Drives : 17th Intern. Conf. (September 3–5, 2002). – Lausanne, 2002.
13. Zu Ressourcenproduktivität von spurgeführten Hochgeschwindigkeitsverkehrssystemen: Ein Vergleich von ICE und TRANSRAPID / V. Gers, H. Hübner, P. Otto, H. Stiller. – Wuppertal : Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie GmbH, 1997. – 19 p.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

А. ЛАШЕР¹, М. УМАНОВ^{2*}, Є. ФРІШМАН³, Е. ПРИШЕДЬКО⁴¹Дрезденський технічний університет, вул. Момсен, 13, Дрезден, Німеччина, D-01062, ел. пошта a.lasher@gmx.de^{2*}Каф. «Колія і колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, ел. пошта m.umantov@mail.ru³Каф. «Електроніка», Єрусалимський технологічний коледж, вул. Хаваад Халеумі, 21, Єрусалим, Ізраїль, 91160, ел. пошта f688349@netvision.net.il⁴Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», вул. Писаржевського, 5, м. Дніпропетровськ, Україна, 49005, ел. пошта kheltanya@gmail.com

МЕТОДИ КОМПЛЕКСНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ МАГНІТОЛЕВІТУЮЧИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Мета. Зараз магнітолевітуючі транспортні системи (МТС) для високошвидкісного наземного транспорту (ВСНТ) практично не застосовуються у зв'язку з необхідністю великих капіталовкладень і збільшення експлуатаційних витрат. Мета статті – впровадження комплексної оптимізації параметрів МТС для зменшення капіталовкладень і експлуатаційних витрат, що дозволить розпочати практичне їх застосування. У цій роботі обґрунтовується доцільність використання теорії комплексної оптимізації транспорту (ТКОТ), запропонованої одним з авторів, для зниження витрат у МТС. **Методика.** Згідно з ТКОТ була розроблена абстрактна модель узагальненої транспортної системи (АМОТС), яка математично визначає максимальну рівновагу між усіма компонентами системи й тим самим забезпечує граничну адаптацію будь-якої транспортної системи до умов її застосування. Для визначення сфер ефективного застосування МТС відповідно до ТКОТ була розроблена динамічна модель розподілу та розвитку сфер ефективного застосування транспортних систем (ДМРРСЕЗТС), де для кожної окремо взятої траси вибирається найбільш ефективна транспортна система. Основним оцінним критерієм під час визначення ефективності застосування МТС є величина питомого перевізного тарифу, отримана з розрахунку окупності сумарних приведених витрат до нормативного терміну окупності або терміну надання кредиту. **Результати.** Виконані багатоваріантні розрахунки чотирьох типів МТС: TRANSRAPID, MIX01, ТРАНСМАГ і ТРАНСПРОГРЕС показали ефективність комплексної оптимізації параметрів таких систем. Це дозволило розширити сфери ефективного застосування МТС приблизно у 2 рази. Результати досліджень доповідалися на багатьох міжнародних конференціях у Німеччині, Швейцарії, США, Китаї, Україні та ін. На прикладі МТС у цій роботі було доведено обґрунтованість запропонованої комплексної оптимізації параметрів транспортних систем, яка може бути використана й для інших транспортних систем. **Наукова новизна.** Викладені основи комплексної оптимізації транспорту є новою системою універсальних наукових методів і підходів, яка забезпечує високу точність і достовірність розрахунків під час моделювання транспортних систем і транспортних мереж з урахуванням динаміки їх розвитку. **Практична значимість.** Розробка теоретичних і технологічних засад виконання комплексної оптимізації транспорту дозволяє створити науковий інструмент, який забезпечує виконання автоматизованого моделювання та розрахунку техніко-економічної структури й технології роботи різних об'єктів транспорту, включаючи його інфраструктуру.

Ключові слова: МТС; TRANSRAPID; MIX01; ТРАНСМАГ; ТРАНСПРОГРЕС; ТКОТ; АМОТС; ДМРРСЕПТС; електромагнітний підвіс; електродинамічний підвіс; підвіс на постійних магнітах

A. LASHER¹, M. UMANOV^{2*}, Ye. FRISHMAN³, Ye. PRISHEDKO⁴¹Technical University of Dresden, Professorship Electric Railways Systems, Mommsen St., 13, Dresden, Germany, D-01062, e-mail a.lasher@gmx.de^{2*}Dep. «Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railways Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, e-mail m.umanov@mail.ru³Dep. «Electronics», The Jerusalem College of Technology, Havaad Haleumi St., 21, Jerusalem, Israel, 91160, e-mail f688349@netvision.net.il⁴«Transmag» Institute of Transport Systems and Technologies, Pisarzhevskiy St., 5, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49005, e-mail kheltanya@gmail.com

METHODS OF INTEGRATED OPTIMIZATION MAGLEV TRANSPORT SYSTEMS

Purpose. To demonstrate feasibility of the proposed integrated optimization of various MTS parameters to reduce capital investments as well as decrease any operational and maintenance expense. This will make use of MTS reasonable. At present, the Maglev Transport Systems (MTS) for High-Speed Ground Transportation (HSGT) almost do not apply. Significant capital investments, high operational and maintenance costs are the main reasons why Maglev Transport Systems (MTS) are hardly currently used for the High-Speed Ground Transportation (HSGT). Therefore, this article justifies use of Theory of Complex Optimization of Transport (TCOT), developed by one of the co-authors, to reduce MTS costs. **Methodology.** According to TCOT, authors developed an abstract model of the generalized transport system (AMSTG). This model mathematically determines the optimal balance between all components of the system and thus provides the ultimate adaptation of any transport systems to the conditions of its application. To identify areas for effective use of MTS, by TCOT, the authors developed a dynamic model of distribution and expansion of spheres of effective use of transport systems (DMRRSEPTS). Based on this model, the most efficient transport system was selected for each individual track. The main estimated criterion at determination of efficiency of application of MTS is the size of the specific transportation tariff received from calculation of payback of total given expenses to a standard payback period or term of granting the credit. **Findings.** The completed multiple calculations of four types of MTS: TRANSPRAPID, MLX01, TRANSMAG and TRANSPROGRESS demonstrated efficiency of the integrated optimization of the parameters of such systems. This research made possible expanding the scope of effective usage of MTS in about 2 times. The achieved results were presented at many international conferences in Germany, Switzerland, United States, China, Ukraine, etc. Using MTS as an example, this research proved the sustainability of the proposed integrated optimization parameters of transport systems. This approach could be applied not only for MTS, but also for other transport systems. **Originality.** The bases of the complex optimization of transport presented are the new system of universal scientific methods and approaches that ensure high accuracy and authenticity of calculations with the simulation of transport systems and transport networks taking into account the dynamics of their development. **Practical value.** The development of the theoretical and technological bases of conducting the complex optimization of transport makes it possible to create the scientific tool, which ensures the fulfillment of the automated simulation and calculating of technical and economic structure and technology of the work of different objects of transport, including its infrastructure.

Keywords: MTS; TRANSPRAPID; MLX01; TRANSMAG; TRANSPROGRESS; electromagnetic suspension; electrodynamic suspension; permanent magnet suspension

REFERENCES

1. Gelman A.S. *Spravochnik proyektirovshchika promyshlennykh dorog. T. I: Promyshlennyy transport* [Handbook of industrial roads designer. Volume I: Industrial Transport]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1972. 232 p.
2. *Razmery udelnykh kapitalovlozheniy, ekspluatatsionnykh zatrat i metalloyemkosti po razlichnym vidam transporta. Metodicheskiye ukazaniya* [Dimensions of specific capital investments, operating costs and steel intensity for various types of transport. Methodical instructions]. Moscow, Transport Publ., 1984. 206 p.
3. Umanov M.I., Frishman Ye.M., Lasher A.N. *Opredeleniye optimalnoy gruzopodyemnosti ekipazha transportnoy sistemy s ispolzovaniyem magnitnoy podveski na postoyannykh magnitakh* [Determining the optimal load crew of transportation system using magnetic suspension permanent magnets]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye – Transport: science, technology, management*, 1991, no. 8, pp.18-21.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

4. Frishman Ye.M., Umanov M.I., Lasher A.N. Ekonomichny li transportnyye sistemy s podvesom gruzovykh telezhek na postoyannykh magnitakh? [Whether transport systems with suspension of trolleys on permanent magnets are economical?]. *Pod'yemno-transportnaya tekhnika i sklady – Materials-handling equipment and storage structures*, 1991, no. 1, H. 217, pp. 41-42.
5. Lascher A., Umanov M., Frishman E., Prishedko H. Complex optimization of parameters of Maglev systems is a basic condition of their implementation. 19th Int. Conf. "Magnetically Levitated Systems and Linear Drivers". Dresden, 2006, pp. 721-725.
6. Endbericht SIC! - Modul Vergleichende Untersuchung von Hochgeschwindigkeits-systemen im Verkehrskorridor Berlin - Sachsen - Praha - Wien - Bratislava – Budapest, 2007. 282 p. Available at: http://www.landesentwicklung.sachsen.de/download/Landesentwicklung/Endbericht_SIC-Modul.pdf/. (Accessed 01 September 2013).
7. Heckl F.X. Infoblatt TRANSRAPID in Shanghai. Leipzig, Klett Publ., 2010. 193 p.
8. Heilmeyer E., Rogg D. Magnetschwebbahnsysteme für hohe Geschwindigkeiten in Deutschland und Japan, Vergleich der Entwicklungsverläufe und der technischen und ökonomischen Merkmale. 2th Int. Conf. "Elektrische Bahnsysteme". Berlin, 1999, pp. 331-339.
9. Obermeyer / Krebs and Kiefer & Spiekermann / Vössing. Machbarkeitsstudie für Magnetschnellbahnstrecken in Bayern und Nordrhein-Westfalen. Planungsgemeinschaft "Metrorapid-TRANSRAPID". Teil II - Teilprojekt Bayern, Erläuterungsbericht und Teil III - Teilprojekt Nordrhein-Westfalen, Erläuterungs-bericht. Berlin Publ., 2002. 480 p.
10. Prykhodko O.A., Polevoy O.B., Menddriy A.V. On the calculation of aerodynamic characteristics of high-speed ground vehicles on the base of three-dimensional navier-stokes equations. 18th Int. Conf. "Magnetically Levitated Systems and Linear Drivers". Shanghai, 2004, pp. 575-583.
11. Stephan A., Lascher A., Umanov M. Optimization of lengths of maglev trains. 20th Int. Conf. "Magnetically Levitated Systems and Linear Drivers". San Diego, 2008.
12. Umanov M., Lascher A., Taturjevich A. Ways of increase of efficiency of Maglev-transport with the purpose of acceleration of its introduction. 17th Int. Conf. "Magnetically Levitated Systems und Linear Drives". Lausanne, 2002.
13. 13 Gers V., Hübner H., Otto P., Stiller H. Zu Ressourcenproduktivität von spurgeführten Hochgeschwindigkeitsverkehrssystemen: Ein Vergleich von ICE und TRANSRAPID. Wuppertal, Umwelt und Energie GmbH Publ., 1997. 19 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. С. В. Мямлиным (Украина); д.т.н., проф. Л. А. Манашкиным (США)

Поступила в редколлегию 21.01.2013

Принята к печати 12.09.2013

УДК 629.42.027.1-048.78

С. В. МЯМЛИН¹, Л. А. НЕДУЖАЯ^{2*}

¹Проректор по научной работе, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс + 38 (056) 793 19 03, эл. почта sergeymyamin@gmail.com

^{2*}Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс + 38 (056) 793 19 03, эл. почта nlorhen@i.ua

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ
ЛОКОМОТИВОВ

Цель. Для определения динамических качеств магистральных грузовых локомотивов, которые характеризуют их безопасное движение по прямолинейным и криволинейным участкам пути во всем диапазоне эксплуатационных скоростей, необходим целый комплекс исследований, который включает в себя выбор расчетной схемы, разработку соответствующей математической модели пространственных колебаний локомотива, составление компьютерной программы вычислений, проведение теоретических, а потом и экспериментальных исследований новых конструкций. При этом необходимо выполнить сопоставление результатов с показателями существующих конструкций. Одним из необходимых условий качественного улучшения тягового подвижного состава железных дорог является определение параметров его ходовых частей. Среди вопросов, связанных с этой проблемой, важное место занимает задача определения динамических качеств локомотивов на стадии проектирования с учетом выбранных технических решений в конструкции ходовых частей. **Методика.** Исследования математического моделирования проводятся методом численного интегрирования динамической нагруженности магистрального локомотива с использованием программного комплекса «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»). **Результаты.** Результаты исследований совершенствования конструкций ходовых частей локомотивов показали, что создание современного локомотива требует от конструкторов и ученых реализации научных и технических решений, обеспечивающих повышение конструкционной скорости с одновременным улучшением тяговых, тормозных и динамических качеств; простоту и надежность конструкции, особенно ходовой части, позволяющей снизить расходы на обслуживание и ремонт; низкую первоначальную стоимость и эксплуатационные расходы в расчете на весь жизненный цикл; высокую силу тяги при трогании, максимально приближенную к предельной по сцеплению; возможность работы в режиме кратной тяги; достаточную конструкционную скорость. **Практическая значимость.** Актуальным при совершенствовании конструкций подвижного состава является обобщение теоретических, научно-методических, экспериментальных исследований, направленных на дальнейшее улучшение ходовых частей магистральных локомотивов перспективных конструкций. Рассмотренные усовершенствования конструктивных особенностей элементов ходовых частей некоторых типов современных магистральных локомотивов, обеспечивающие необходимые динамические показатели движения экипажа, имеют практическую ценность, могут быть использованы в дальнейших разработках.

Ключевые слова: магистральный локомотив; конструкция; кузов; ходовая часть; тележка; связи; наклонные тяги; тяговые усилия; динамические показатели

Введение

Создание современного локомотива требует от конструкторов и ученых реализации научных и технических решений, обеспечивающих повышение конструкционной скорости с одновременным улучшением тяговых, тормозных и динамических качеств [4, 6, 7, 13]. При этом следует выделить такие требования:

– простая и надежная конструкция, особенно ходовой части, позволяющая снизить расходы на обслуживание и ремонт;

– низкие первоначальная стоимость и эксплуатационные расходы в расчете на весь жизненный цикл;

– высокая сила тяги при трогании, максимально приближенная к предельной по сцеплению;

– возможность работы в режиме кратной тяги;

– достаточная конструкционная скорость;

– удобная кабина управления с применением современных средств управления и контроля;

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

– унификация конструкции и компонентов оборудования в пределах небольшого числа серий в целях упрощения и удешевления технического обслуживания и ремонта, а также для обеспечения эксплуатационной совместимости локомотивов, принадлежащих разным сетям и компаниям.

Цель

Для определения динамических качеств магистральных грузовых локомотивов, которые характеризуют безопасное движение по прямолинейным и криволинейным участкам пути во всем диапазоне эксплуатационных скоростей, необходим целый комплекс исследований, который включает в себя выбор расчетной схемы, разработку соответствующей математической модели пространственных колебаний локомотива, составление компьютерной программы вычислений, проведение теоретических, а потом и экспериментальных исследований новых конструкций [14–16]. При этом необходимо выполнить сопоставление результатов с показателями существующих конструкций.

Одним из необходимых условий качественного улучшения тягового подвижного состава железных дорог является определение параметров его ходовых частей. Среди вопросов, связанных с этой проблемой, важное место занимает задача определения динамических качеств локомотивов на стадии проектирования с учетом выбранных технических решений в конструкции ходовых частей.

Методика

Актуальным при совершенствовании конструкций подвижного состава является обобщение теоретических, научно-методических, экспериментальных исследований, направленных на дальнейшее улучшение ходовых частей некоторых типов магистральных локомотивов перспективных конструкций.

Исследования математического моделирования проводятся методом численного интегрирования динамической нагруженности магистрального локомотива с использованием программного комплекса «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»).

Результаты

В конце прошлого столетия на железных дорогах Украины эксплуатировались в основном физически и морально устаревшие электровагоны. Это относилось, прежде всего, к электровагонам серии ВЛ8, которые выпускались с 1953 года, ВЛ80, производство которых началось в 1961 году, и некоторым другим. Для обеспечения железнодорожного транспорта Украины более совершенными электровагонами необходима была разработка новых конструкций. Поэтому определение рациональных значений параметров экипажной части грузового электровагона было своевременной задачей.

Для разработки математической модели пространственных колебаний электровагона и проведения последующих теоретических исследований вначале необходимо было выбрать расчетную схему.

Для этого были рассмотрены две схемы. Первая создана на базе конструкции электровагона серии ВЛ85. Это в свое время **один из мощных грузовых магистральных электровагонов переменного тока** (конструкционная скорость 110 км/ч) с опорно-осевым подвешиванием тяговых двигателей, двухсекционный двенадцатиосевой электровагон с устройствами, которые обеспечивают работу по системе многих единиц.

Каждая секция опирается на три двухосных бесшкворневых тележки, которые отличаются друг от друга исполнением: крайние имеют опоры кузова в виде люлечных подвесок (рис. 1, а), средняя – опоры кузова в виде упругих качающихся стержней (рис. 1, б). Центральное подвешивание – люлечного типа или с пружинами, с так называемой «отрицательной жесткостью» для средних тележек. Тележки цельносварные; рессорное подвешивание выполнено с применением рессор и пружин; параллельно пружинам центрального подвешивания установлены демпферы вязкого трения, буксы – поводкового типа; каждая тележка имеет два колесно-моторных блока [12].

Вторая схема создана на базе конструкции, разработанной Украинским научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом электровагоностроения (УЭЛНИИ), г. Днепропетровск, который входил в состав научно-производственного

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

объединения электровозостроения (НПО «ДЭВЗ»). Первый грузовой украинский электровоз был построен при участии целого ряда научных и производственных организаций, в том числе и Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДИИТ).

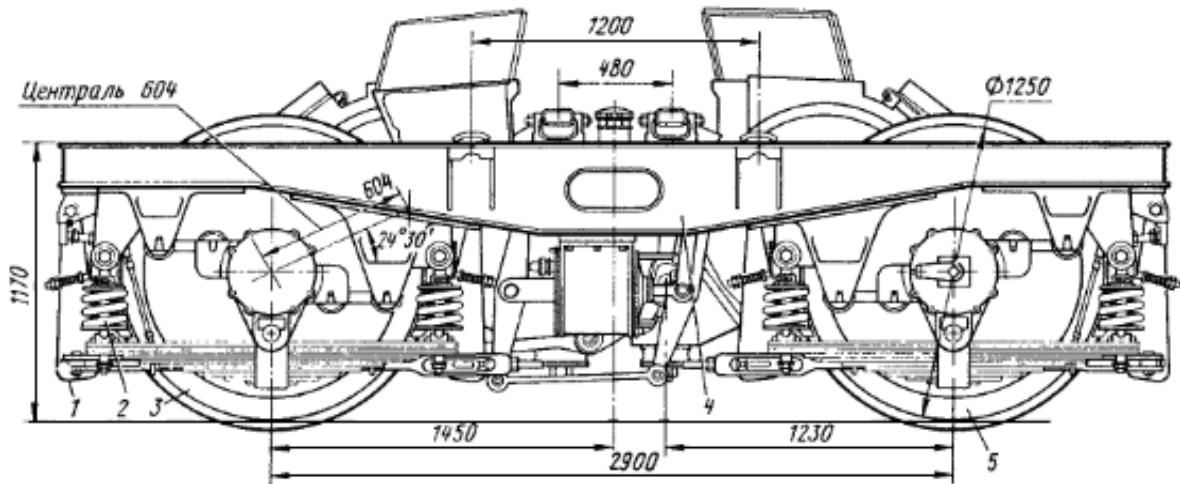
Двухосная тележка электровоза (рис. 2, а) выполнена бесшкворневой, несочлененной, с индивидуальным приводом на ось и опорно-осевым подвешиванием тяговых электродвигателей [2, 3].

Буксы бесчелюстные поводковые; рессорное подвешивание индивидуальное, служит для

смягчения ударов, передаваемых на надрессорное строение от неровностей пути (рис. 2, б).

Для улучшения динамических качеств экипажа на электровозе выполнена конструкция люлечного подвешивания кузова со статическим прогибом 120 мм. Кузов с каждой стороны тележки соединен двумя наклонными люлечными подвесками с промежуточной балкой. Каждая промежуточная балка в поперечном направлении через сферический шарнир соединена со средней балкой рамы тележки, а в продольном направлении – шарнирно с двумя тягами, которые с помощью резиновых шайб соединены с боковинами рамы тележки.

а



б

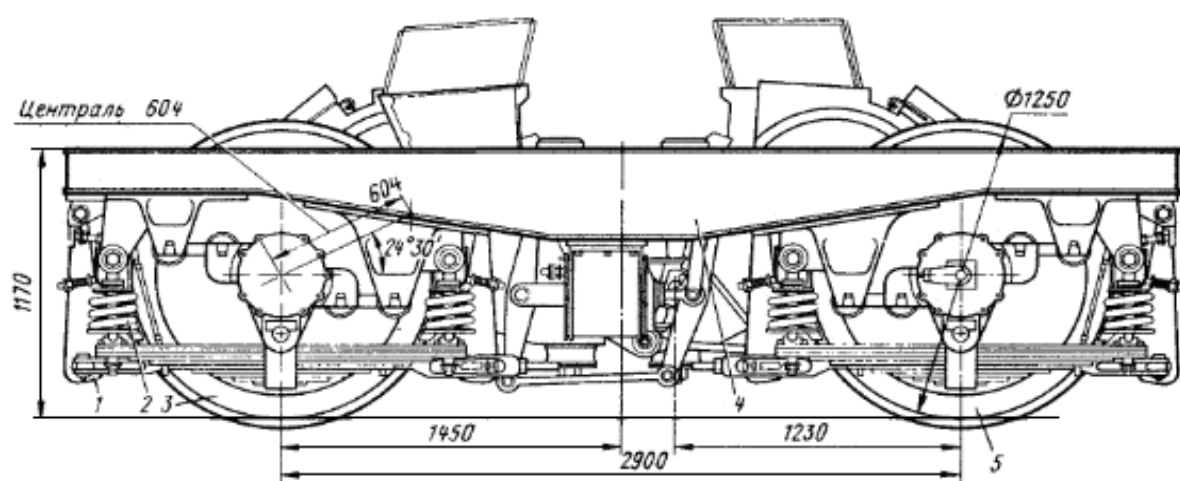


Рис. 1. Схемы тележек электровоза:
а – крайней тележки; б – средней тележки;
1 – тормозная система, 2 – рессорное подвешивание,
3, 5 – колесная пара с электродвигателем, 4 – рама тележки

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

а



б

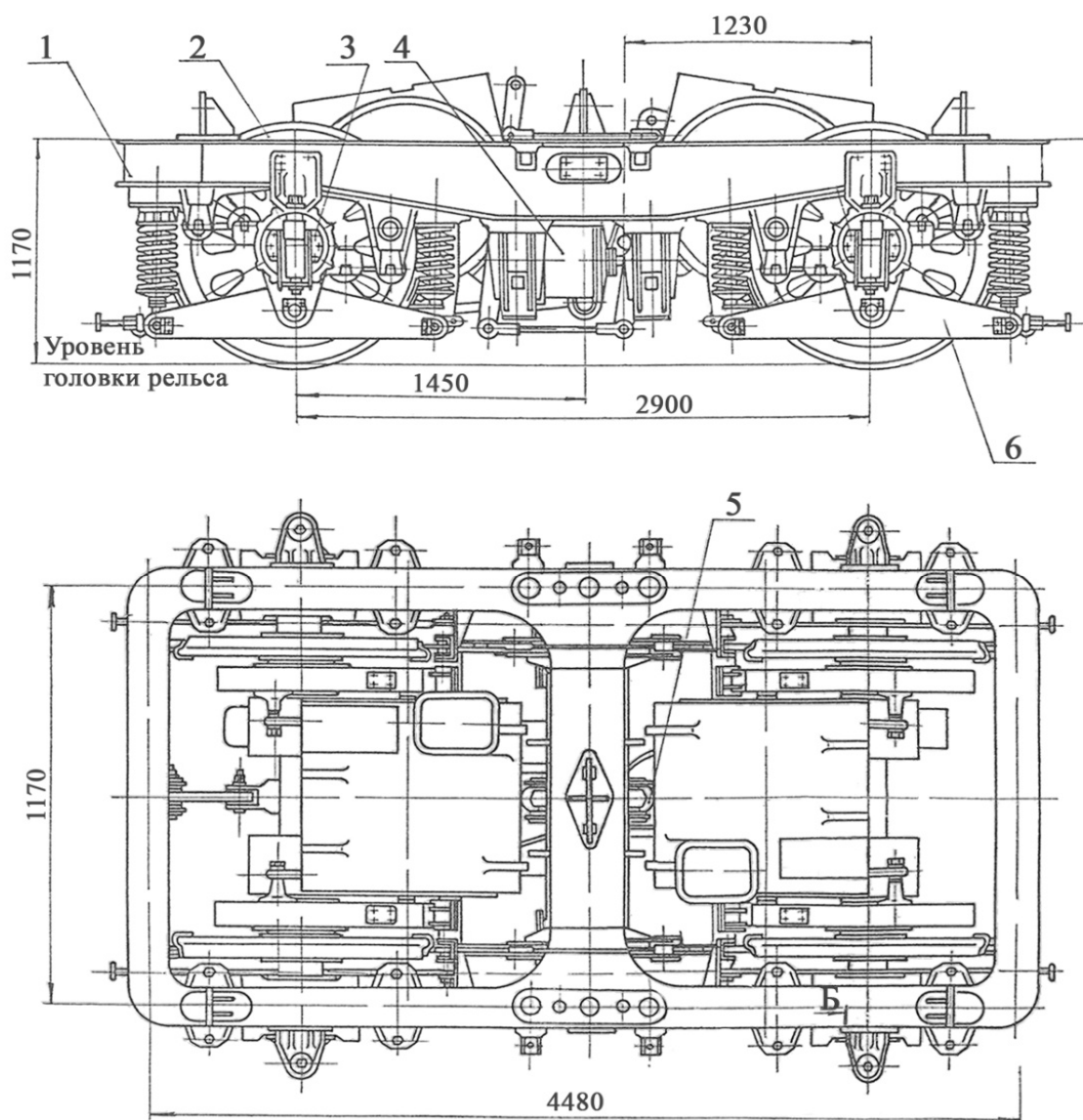


Рис. 2. Ходовая часть электровоза серии ДЭ1:

а – общий вид; б – схема тележки; 1 – рама, 2 – колесная пара, 3 – букса, 4 – тормозная система,
5 – подвеска двигателя, 6 – рессорное подвешивание

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Первая ступень подвешивания состоит из пружин, гидроамортизаторов и упругих поводков; подвешивание второй ступени – люлечное с гидроамортизаторами. В этой конструкции для повышения надежности работы люлечных подвесок пружины вертикальной связи кузова и тележек устанавливаются не на сами подвески, а между рамой тележки и промежуточными балками, которые с ней соединены шарнирно. Промежуточная балка является в этом случае рычагом, к концу которого приложена через люлечные подвески часть веса кузова, а в промежуточной точке передается нагрузка на пружины кузовного рессорного подвешивания, опирающиеся на раму тележки.

Пружины, воспринимающие вертикальную нагрузку, расположены отдельно между двумя промежуточными балками и рамой тележки. Кузов через люлечные подвески подвешен к промежуточным балкам, которые соединены с рамой тележки в горизонтальном продольном и поперечном направлениях с помощью шарнирно-стержневых связей с упруго-диссипативными элементами одностороннего действия, работающими только на сжатие.

Достоинство конструкции состоит в том, что разнесены элементы, в которых возникают восстанавливающие силы в вертикальной (пружины) и горизонтальной (люлечные подвески) плоскостях.

При вписывании экипажа в кривые возникает довольно значительный противоповоротный момент, который воспринимает промежуточная балка через упругие связи. Две люлечные подвески, расположенные по диагонали тележки, при повороте тележки должны удлиняться, две другие – укорачиваться. Возникающая коссимметричная нагрузка вынуждает промежуточные балки работать как «пропеллер», то есть совершать колебания галопирования в противоположном направлении. Этому способствует пространственный шарнир, с помощью которого обе балки соединены между собой и с рамой тележки. Таким образом, при вписывании тележки в кривые, помимо восстанавливающего момента в люлечных подвесках, возникает и восстанавливающий момент в пружинах (одна крайняя пружина из трех в комплекте, расположенном с одной стороны электровоза, сжимается, другая – растягивается, а средняя при этом выполняет поддерживающую функцию).

Далее более подробно рассмотрим основные тенденции конструктивного исполнения локомотивов, уделив основное внимание совершенствованию конструкции ходовых частей:

– Тележки магистрального шестиосного пассажирского электровоза серии ЭП10 двухосные, бесчелюстные, рессорное подвешивание – двухступенчатое. Тележка состоит из колесной пары с буксами и тяговым редуктором, системы буксового рессорного подвешивания, оснащенного гидродемпфером, рамы тележки, тягового двигателя, тормозной системы (рис. 3, а).

Среди особенностей конструкции ходовой части электровоза по сравнению с другими выделяется то, что он имеет тяговый привод 2-го класса с опорно-рамным подвешиванием тяговых двигателей, системы связей тележек с кузовом; первая и третья тележки имеют более совершенную систему второй ступени рессорного подвешивания, в которой использованы винтовые пружины типа Flexicoil [14].

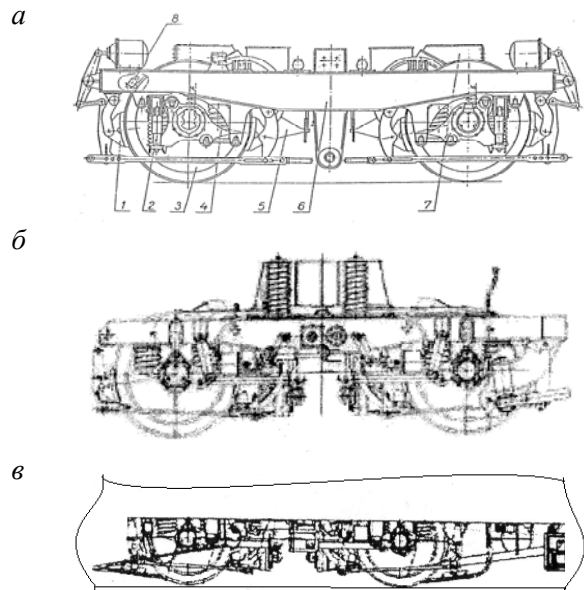


Рис. 3. Схемы тележек электровозов серий ЭП10 (а); 2ЭС6 «Синара» (б); 2ЭС10 «Гранит» (в):

1 – тормозная система, 2 – установка гидродемпферов, 3 – колесная пара с буксами и редуктором, 4 – рессорная система буксовой ступени, 5 – корпус тягового редуктора, 6 – рама тележки, 7 – тяговый двигатель, 8 – устройство смазки гребней

– Кузов каждой секции электровоза 2ЭС6 «Синара» опирается на две двухосные бесшкворневые тележки (рис. 3, б). Кузов и тележки связаны между собой в вертикальном и по-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

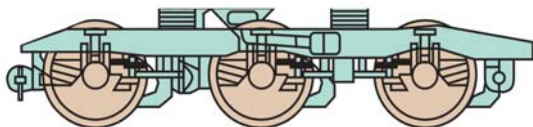
перечном напрямленнях з допомогою пружин і демпфуючих елементів – з допомогою пружин типу «Флексикойл» через спеціальні упори-ограничители і цельные наклонные тяги; для гашення коливаний кузова і подрессоренних частей тележки применены вертикальные буксовые гидродемпферы, а также вертикальные и горизонтальные кузовные гидродемпферы. Рессорное підвешивание двухступенчатое с общим статическим прогибом не менее 130 мм [5].

– Кузов и тележки электровоза серии 2ЭС10 «Гранит» связаны между собой в вертикальном и поперечном направлениях с помощью пружин и демпфуючих елементів.

Максимальные взаимные перемещения тележек и кузова электровоза серии 2ЭС10 в вертикальном и поперечном направлениях ограничены специальными упорами. Передача силы тяги и торможения от тележек к кузову осуществляется цельными наклонными тягами (рис. 3, в) [11].

– Тележки тепловоза Еуго 4000 (рис. 4, а) имеют стальные рамы и оснащены двухступенчатым опорно-осевым рессорным подвешиванием, в буксовой ступени которого применены цилиндрические винтовые пружины, а в центральной – упругие резинометаллические элементы. Установлены также гасители вертикальных, горизонтальных и угловых колебаний [18].

а



б

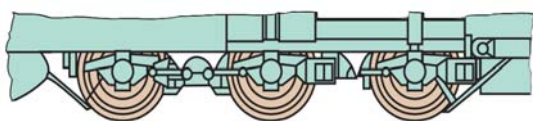


Рис. 4. Модели тележек тепловозов Еуго 4000 (а); Maxima 40CC (б)

– В конструкции тележки тепловоза Maxima 40CC (рис. 4, б) во второй ступени рессорного подвешивания применены винтовые пружины типа Flexicoil, обеспечивающие пониженное воздействие локомотива на путь. Передача продольных усилий между кузовом и тележками осуществляется посредством низко расположенных тяг [18]. Тележки оснащены также независимыми системами противобоксовочной и противоюзной защиты.

– В разработках ходовой части локомотивов семейства Prima видно, что связь между кузовом и тележками (рис. 5) осуществляется посредством двух наклонных стержней, работающих на растяжение/сжатие. Стержни передают тяговые и тормозные усилия на уровне головок рельсов. Такое решение позволяет снизить до минимума разгрузку колесных пар и оптимально использовать имеющуюся сцепную массу [9]. Тяговые двигатели имеют опорно-осевую подвеску и опираются на оси колесных пар локомотива через подшипниковые втулки.

На верхнюю часть продольных балок опираются пружины центральной (второй) ступени рессорного подвешивания тележки. Продольные балки в свою очередь опираются на пружины буксовой (первой) ступени рессорного подвешивания.

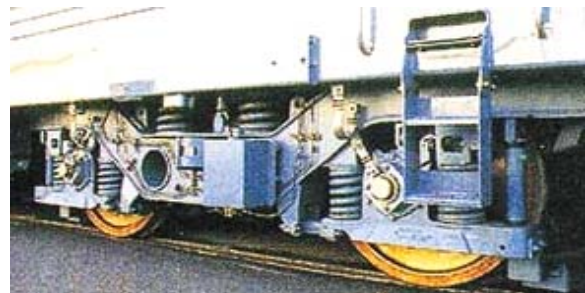
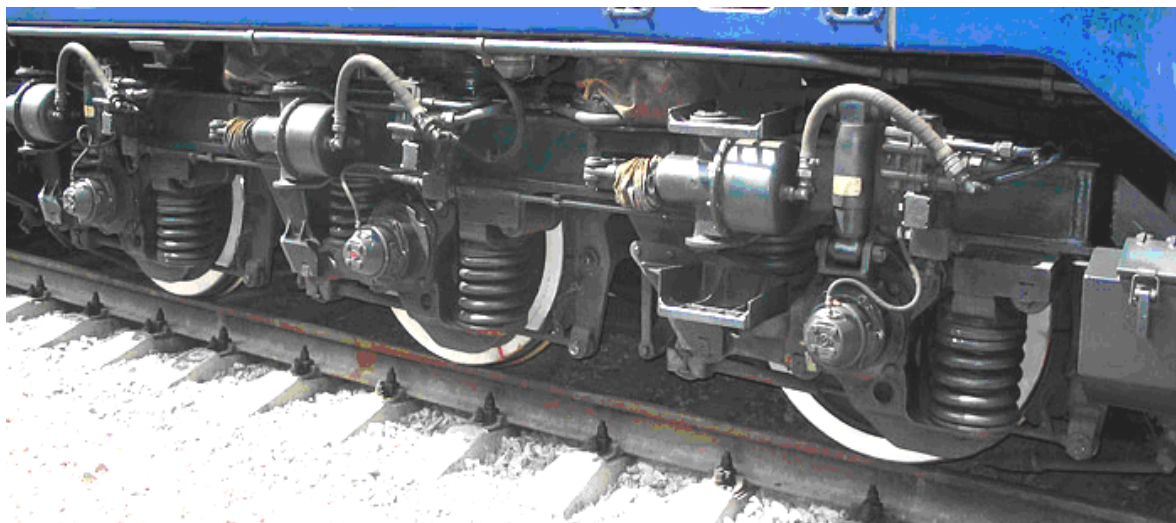


Рис. 5. Общий вид ходовой части локомотива семейства Prima

– Ходовая часть магистрального шестиосного пассажирского тепловоза серии ТЭП150 состоит из двух бесчелюстных трехосных тележек с индивидуальным приводом колесных пар и опорно-рамным подвешиванием тяговых двигателей (рис. 6, а). Передача тяги осуществляется одноступенчатой передачей и упругой муфтой. Конструкция тележки предусматривает одностороннее расположение тяговых двигателей, что позволяет увеличить коэффициент использования сцепного веса. Упругое двухступенчатое индивидуальное рессорное подвешивание [1] с общим статическим прогибом не менее 160 мм состоит из 24 комплектов пружин, установленных на крыльях букс, на которые опирается рама тележки, регулируемых шайб и резинометаллических элементов, которые подвешивают виброзащиту оборудования и разгружают пружину от изгибающих моментов, увеличивая ее ресурс; обеспечивает плавный ход тепловоза.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

a



б

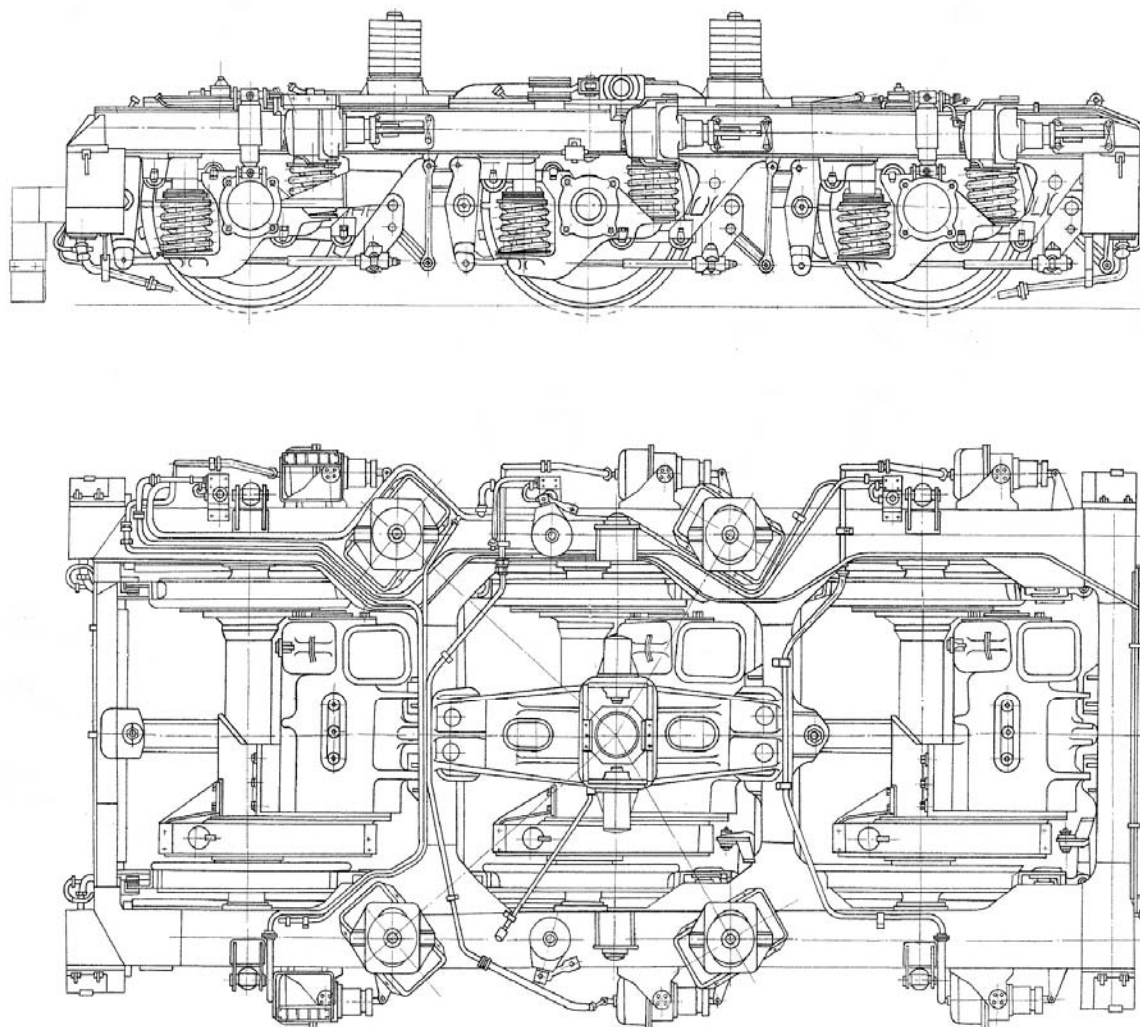


Рис. 6. Ходовая часть тепловоза серии ТЭП150:
a – общий вид; *б* – схема тележки

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Буксы соединяются с рамой через упругие поковки, воспринимающие продольные тягово-тормозные, поперечные и вертикальные усилия. Пружины воспринимают вертикальные статические и динамические силы, а также горизонтально-поперечные усилия от динамического взаимодействия колеса и рельса.

Поперечные силы от оси колесной пары на раму тележки передаются через упорный подшипник и упругий элемент (рис. 6, б).

– Тележка магистрального шестиосного пассажирского электровоза ЭП2К (рис. 7, а) – трехосная с индивидуальным приводом колесных пар и опорно-рамным подвешиванием тяговых двигателей и осевых редукторов.

Рессорное подвешивание – двухступенчатое (рис. 7, б). Первая ступень – опора рамы тележки на буксовые узлы колесных пар, выполнена на пружинах 3 со статическим прогибом 97 мм. Вторая ступень – опора кузова на раму тележки, выполнена на пружинах 2 со статическим прогибом 118 мм. Для гашения колебаний установлены гидравлические гасители колебаний 4: четыре вертикальных, два горизонтальных и шесть буксовых [10].

– Механическая часть магистрального пассажирского электровоза серии ЭП20 состоит из кузова и трех двухосных бесшкворневых тележек (рис. 8).

Вертикальная и поперечная связи кузова с тележками осуществлены на крайних тележках посредством опор типа «Flexicoil», а на средней – посредством опор кузова на среднюю тележку, конструктивно выполненных в виде упругих качающихся сжатых стержней. Продольная связь тележек с кузовом реализована наклонными тягами двустороннего действия, работающими на растяжение-сжатие [8].

При подаче питающего напряжения на тяговые двигатели их валы приводятся во вращение, вращающий момент через редуктор и передаточный механизм, состоящий из полого вала и двух муфт, передается на колесные пары, которые преобразуют вращающий момент в поступательное движение электровоза.

Передача силы тяги, возникающей в контакте колеса и рельса, от колесной пары на раму тележки осуществляется через буксовые тяги. От рамы тележки сила тяги передается на раму кузова при помощи наклонной тяги, закрепленной одним концом к кронштейну на нижнем листе среднего бруса рамы тележки, а другим – к кронштейну

с упругими элементами на раме кузова.

При проезде тележкой неровностей пути возникающая дополнительная вертикальная нагрузка воспринимается пружинами буксового рессорного подвешивания, что снижает воздействие электровоза на путь. Колебания рамы тележки, возникающие при проезде неровностей пути, гасятся гидродемпферами, установленными в буксовой ступени подвешивания между корпусом буксы и рамой тележки.

Практическая значимость

Таким образом, можно сделать вывод, что создание современного локомотива требует реализации научных и технических решений, которые бы обеспечивали повышение конструкционной скорости с одновременным улучшением тяговых, тормозных и динамических качеств, простоту и надежность конструкции, особенно ходовой части. Это позволяет снизить расходы на обслуживание и ремонт, начальную стоимость и эксплуатационные расходы в расчете на весь жизненный цикл, обеспечить высокую силу тяги, максимально приближенную к предельной по сцеплению, возможность работы в режиме кратной тяги, достаточную конструкционную скорость.

Проведенные авторами исследования относительно усовершенствования конструкций ходовых частей локомотивов являются актуальными, имеют практическую ценность, могут быть использованы в дальнейших как отечественных, так и зарубежных разработках.

Выводы

Так как актуальным при совершенствовании конструкций подвижного состава является обобщение теоретических, научно-методических, экспериментальных исследований, направленных на дальнейшее улучшение ходовых частей магистральных локомотивов перспективных конструкций, в работе рассмотрены основные тенденции конструктивного исполнения некоторых типов магистральных локомотивов. Основное внимание уделено совершенствованию конструкции ходовых частей.

Таким образом, рассмотрены конструктивные особенности элементов ходовых частей современных магистральных локомотивов, обеспечивающие необходимые динамические показатели движения экипажа.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

а



б

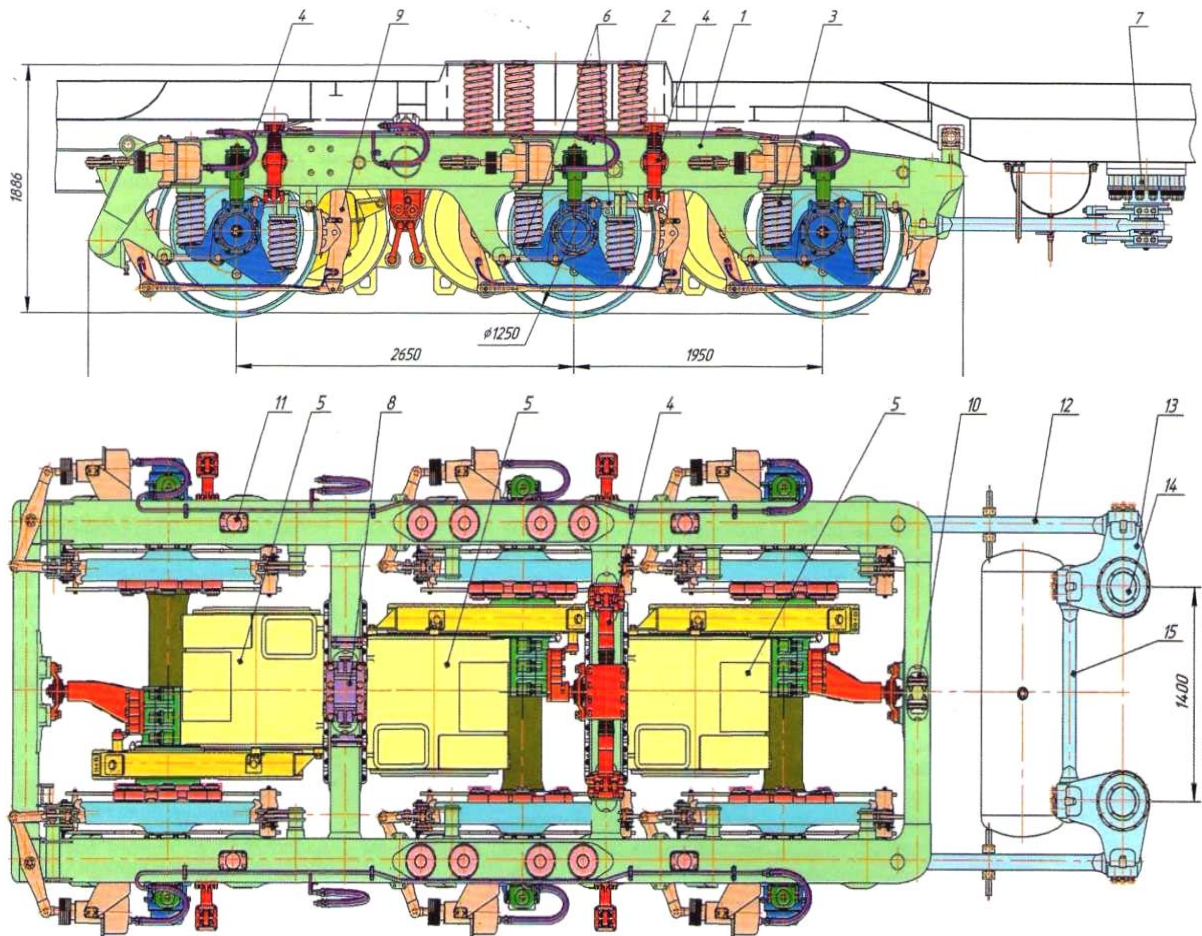


Рис. 7. Ходовая часть электровоза серии ЭП2К:

а – общий вид; б – схемы тележки;

1 – рама тележки; 2 – пружины второй ступени рессорного подвешивания; 3 – пружины первой ступени рессорного подвешивания; 4 – гидравлические гасители колебаний; 5 – колесно-моторный блок; 6 – буксовые поводки; 7 – механизм передачи силы тяги от тележки к кузову; 8 – возвращающее устройство; 9 – рычажная передача тормоза; 10 – упоры при угловых поворотах тележки; 11 – упоры при вертикальных деформациях пружин опор кузова; 12 – продольная тяга; 13 – двуплечий рычаг; 14 – шкворень; 15 – поперечная тяга

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

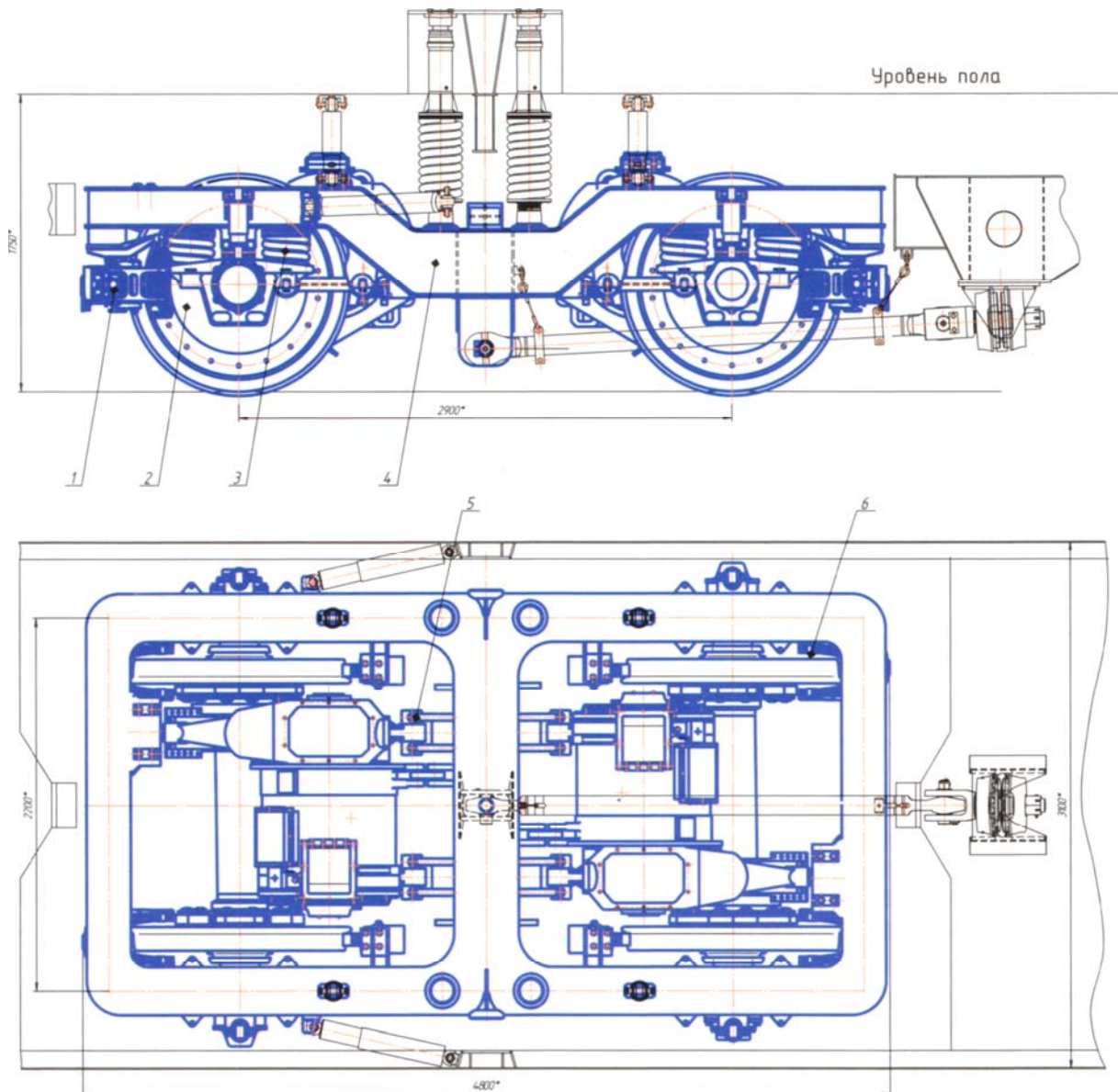


Рис. 8. Тележка электровоза серии ЭП20

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Басов, Г. Г. Теоретичні й експериментальні дослідження екіпажної частини тепловозів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Г. Г. Басов, В. І. Нестеренко. – Луганськ : Ноу-лідж, 2011. – 247 с.
2. Блохин, Е. П. Динамические характеристики и рациональные значения параметров ходовых частей электровоза ДЭ1 / Е. П. Блохин, В. Д. Данович, Л. А. Недужая // Трансп. : зб. наук. пр. Дніпропетр. держ. техн. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2002. – № 11. – С. 8–16.
3. Браташ, В. А. Тележка ДЭ1 / В. А. Браташ, В. А. Смородин, Ю. Ф. Палий // Трансп. : зб. наук. пр. Дніпропетр. держ. техн. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2002. – № 11. – С. 21–23.
4. Горбунов, Н. И. Анализ факторов, снижающих тягово-сцепные качества локомотивов / Н. И. Горбунов, Е. А. Кравченко, М. В. Ковталец // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 30. – С. 125–128.
5. Грузовой электровоз постоянного тока 2ЭС6 // Локомотив. – 2008. – № 2. – С. 31–33.
6. Дайлидка, С. Обновление локомотивного парка Литовских железных дорог /

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- С. Дайлидка, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая // 36. наук. пр. Донец. ін-ту залізн. трансп. – Донецьк, 2011. – № 28. – С. 174–179.
7. Дайлидка, С. Инновационные решения при создании магистрального локомотива для железных дорог Литвы / С. Дайлидка, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2012. – № 3. – С. 52–58.
8. Знакомьтесь: Электровоз ЭП20 // Локомотив. – 2013. – № 4. – С. 34–37.
9. Механическая часть грузовых локомотивов семейства Prima // Железные дороги мира. – 2009. – № 5. – С. 32–45.
10. Особенности электрических схем электровоза ЭП2К // Локомотив. – 2013. – № 3. – С. 22–26.
11. Основные параметры и характеристики электровоза 2ЭС10 // Локомотив-информ. – 2012. – № 5. – С. 16–19.
12. Тушканов, Б. А. Электровоз ВЛ85. Рук. по эксплуатации / Б. А. Тушканов, Н. Г. Пушкарев, Л. А. Позднякова. – М.: Транспорт, 1992. – 480 с.
13. Султан, А. В. Исследование усталостной прочности рамы тележки электровоза ДСЗ методом конечно-элементного моделирования / А. В. Султан, Б. Н. Товт // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 30. – С. 230–234.
14. Электровоз двойного питания ЭП10: особенности конструкции и электрических схем // Локомотив. – 1999. – № 12. – С. 9–11.
15. Gubacheva, L. Alternative fuels for transport / L. Gubacheva, A. Andreev, D. Shevchenko // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2011. – № 11 A. – P. 99–106.
16. Myamlin, S. Construction Analysis of Mechanical Parts of Locomotives / S. Myamlin, M. Luchanin, L. Neduzha // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2013. – № 3. – P. 162–169.
17. Myamlin, S. Mathematical Modeling of a Cargo Locomotive / S. Myamlin, S. Dailidka, L. Neduzha // Proc. of 16th Intern. Conf. Transport Means. – Kaunas, 2012. – P. 310–312.
18. New diesel locomotives for the railways in Europe // Railway Gazette Intern. – 2006. – № 7. – P. 402–403.

С. В. МЯМЛІН¹, Л. О. НЕДУЖА^{2*}

¹Проректор з наукової роботи, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03, ел. пошта sergeymyamin@gmail.com

^{2*}Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03, ел. пошта nlorhen@i.ua

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ХОДОВИХ ЧАСТИН ЛОКОМОТИВІВ

Мета. Для визначення динамічних якостей магістральних вантажних локомотивів, які характеризують безпечний рух по прямолінійних і криволінійних ділянках колії у всьому діапазоні експлуатаційних швидкостей, необхідний цілий комплекс досліджень, який включає вибір розрахункової схеми, розробку відповідної математичної моделі просторових коливань локомотива, складання комп'ютерної програми обчислювань, проведення теоретичних, а потім і експериментальних досліджень нових конструкцій. При цьому необхідно зіставлення результатів з показниками існуючих конструкцій. Однією з необхідних умов якісного поліпшення тягового рухомого складу залізниць є визначення параметрів його ходових частин. Серед питань, пов'язаних з цією проблемою, важливе місце займає задача визначення динамічних якостей локомотивів на стадії проектування з урахуванням обраних технічних рішень в конструкції ходових частин. **Методика.** Дослідження математичного моделювання виконувалося методом числового інтегрування динамічної завантаженості магістрального локомотива з використанням програмного комплексу «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»). **Результати.** У результаті досліджень удосконалення конструкцій ходових частин локомотивів видно, що створення сучасного локомотива потребує від конструкторів і вчених реалізації наукових і технічних рішень, що забезпечують підвищення конструкційної швидкості з одночасним поліпшенням тягових, гальмівних і динамічних якостей; простоту та надійність конструкції, особливо ходової частини, що дозволяє знизити витрати на обслуговування і ремонт, низьку початкову вартість і експлуатаційні витрати в розрахунку на весь життєвий цикл; високу силу тяги, максимально наближену до граничної за зчепленням; можливість роботи в режимі кратної тяги; достатню конструкційну швидкість. **Практична значимість.** Актуальним при удосконаленні конструкцій рухомого

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

складу є узагальнення теоретичних, науково-методичних, експериментальних досліджень, спрямованих на подальше покращення ходових частин магістральних локомотивів перспективних конструкцій. Розглянуті удосконалення конструктивних особливостей елементів ходових частин деяких типів сучасних магістральних локомотивів, які забезпечують необхідні динамічні показники руху екіпажу, мають практичну цінність, можуть бути використані в подальших розробках.

Ключові слова: магістральний локомотив; конструкція; кузов; ходова частина; візок; зв'язки; похилі тяги; тягові зусилля; динамічні показники

S. V. MYAMLIN¹, L. O. NEDUZHA^{2*}

¹Vice-Rector, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 03, e-mail sergeymyamin@gmail.com

^{2*}Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 03, e-mail nlorhen@i.ua

DESIGN IMPROVEMENT OF THE LOCOMOTIVE RUNNING GEARS

Purpose. To determine the dynamic qualities of the mainline freight locomotives characterizing the safe motion in tangent and curved track sections at all operational speeds, one needs a whole set of studies, which includes a selection of the design scheme, development of the corresponding mathematical model of the locomotive spatial fluctuations, construction of the computer calculation program, conducting of the theoretical and then experimental studies of the new designs. In this case, one should compare the results with existing designs. One of the necessary conditions for the qualitative improvement of the traction rolling stock is to define the parameters of its running gears. Among the issues related to this problem, an important place is occupied by the task of determining the locomotive dynamic properties on the stage of projection, taking into account the selected technical solutions in the running gear design. **Methodology.** The mathematical modeling studies are carried out by the numerical integration method of the dynamic loading for the mainline locomotive using the software package «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»). **Findings.** As a result of research for the improvement of locomotive running gear design it can be seen that the creation of the modern locomotive requires from engineers and scientists the realization of scientific and technical solutions. The solutions enhancing design speed with simultaneous improvement of the traction, braking and dynamic qualities to provide a simple and reliable design, especially the running gear, reducing the costs for maintenance and repair, low initial cost and operating costs for the whole service life, high traction force when starting, which is as close as possible to the ultimate force of adhesion, the ability to work in multiple traction mode and sufficient design speed. **Practical Value.** The generalization of theoretical, scientific and methodological, experimental studies aimed at further improvement of the running parts for the mainline locomotives of promising designs is urgent for improving the rolling stock design. The observed improvements of the design features of the running gear elements for some types of the modern mainline locomotives, providing the necessary dynamic parameters of the vehicle movement are relevant; they have the practical value and can be used for further developments.

Keywords: main locomotive construction; body; running parts; bogie; communication; oblique thrust; traction forces; dynamic performance

REFERENCE

1. Basov H.H., Nesterenko V.I. *Teoretychni i eksperymentalni doslidzhennia ekipazhnoi chastyny teplovoziv* [Theoretical and experimental study of the locomotive running gears]. Luhansk, Noulidzh Publ., 2011. 247 p.
2. Blokhin Ye.P., Danovich V.D., Neduzhaya L.A., Korotenko M.L., Litvin V.A., Reydemeyster A.G. Dinamicheskiye kharakteristiki i ratsionalnyye znacheniya parametrov khodovykh chastey elektrovoza DE1 [The dynamic characteristics and rational values of parameters of running gears for electric locomotive DE1]. *Transport*. [Transport], 2002, issue 11, pp. 8-16.
3. Bratash V.O., Smorodin V.O., Paliy Yu.F. Telezhka DE1 [Bogie DE1]. *Transport*. [Transport], 2002, issue 11, pp. 21-23.
4. Gorbunov N.I., Kravchenko Ye.A., Kovtanets M.V. Analiz faktorov, snizhayushchikh tyagovo-stsepnnye kachestva lokomotivov [Analysis of the factors reducing the traction-adhesion characteristics of the locomotives]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni*

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 30, pp. 125-128.
5. Gruzovoy elektrovoz postoyannogo toka 2EC6 [Freight electric locomotive of direct current 2EC6]. *Lokomotiv - Locomotive*, 2008, no. 2, pp. 31-33.
 6. Dailidka S., Myamlin S.V., Neduzhaya L.A., Obnovleniye lokomotivnoho parka Litovskikh zheleznykh dorog [Renewal of locomotive stock of Lithuanian Railways]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instituta zaliznychnoho transportu* [Proc. of Donetsk Railway Transport Institute], 2011, issue 28, pp. 174-179.
 7. Dailidka S., Myamlin S.V., Neduzhaya L.A. Innovatsyonnyye resheniya pri sozdanii magistralnogo lokomotiva dlya zheleznykh dorog Litvy [Innovative solutions when designing the main locomotive for the Lithuanian Railways]. *Visnyk Shkhydnooukrainskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni V. Dalya* [Bulletin of the East Ukrainian National University named after V. Dahl], 2012, issue 3, pp. 52-58.
 8. Znakomtes: Elektrovoz EP20 [Meet: the electric locomotive EP20]. *Lokomotiv - Locomotive*, 2013, no. 4, pp. 34-37.
 9. Mekhanicheskaya chast gruzovykh lokomotivov semeystva Prima [The mechanical part of freight locomotives of the family Prima]. *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the world*, 2009, no. 5, pp. 32-45.
 10. Osobennosti elektricheskikh skhem elektrovoza EP2K [Characteristics of the electric schemes electric of the locomotive EP2K]. *Lokomotiv - Locomotive*, 2013, no. 3, pp. 22-26.
 11. Osnovnyye parametry i kharakteristiki elektrovoza 2EC10 [The main parameters and characteristics of electric locomotive 2ES10]. *Lokomotiv-inform. – Locomotive-inform*, 2012, no. 5, pp. 16-19.
 12. Tushkanov V.A., Pushkarev N.G., Pozdnyakova L.A. *Elektrovoz VL85. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Electric locomotive VL85. Operating instructions]. Moscow, Transport Publ., 1992, 480 p.
 13. Sultan A.V., Tovt B.N. Issledovaniye ustalostnoy prochnosti ramy telezhki elektrovoza DS3 metodom konechno-elementnogo modelirovaniya [Investigation of the fatigue strength of the bogie frame for the electric locomotive DS3 using the method of finite-element modeling]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 30, pp. 230-234.
 14. Elektrovoz dvoynogo pitaniya EP10: osobennosti konstruktсии i elektricheskikh skhem [Electric locomotive dual power supply EP10: special design and electric schemes]. *Lokomotiv – Locomotive*, 1999, no. 12, pp. 9-11.
 15. Gubacheva L., Andreev A., Shevchenko D. Alternative fuels for transport. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 2011, no. 11 A, pp. 99-106.
 16. Myamlin S., Luchanin M., Neduzha L. Construction Analysis of Mechanical Parts of Locomotives. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 2013, no. 3, pp. 162–169
 17. Myamlin, S., Dailidka S., Neduzha L. Mathematical Modeling of a Cargo Locomotive. Proc. of 16th Int. Conf. "Transport Means 2012". Kaunas, 2012, pp. 310-312.
 18. New diesel locomotives for the railways in Europe. *Railway Gazette International*, 2006, no. 7, pp. 402-403.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Л. Горобцом (Украина); д.т.н., проф. О. А. Бейгулом (Украина)

Поступила в редколлегию 22.08.2013

Принята к печати 11.09.2013

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 691.327.32:662.613

Н. И. НЕТЕСА¹, Д. В. ПАЛАНЧУК², А. Н. НЕТЕСА^{1*}

¹Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 195 50 27, эл. почта andreynetes@meta.ua

²Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 560 18 38, эл. почта stroitel_p@mail.ru

^{1*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (063) 769 25 51, эл. почта andreynetes@meta.ua

ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ С ЗОЛОЙ УНОСА ПРИДНЕПРОВСКОЙ ТЭС

Цель. Определение закономерностей влияния расхода компонентов легких бетонов, получаемых на основе местных вторичных продуктов промышленности, на их основные свойства при условии повышенной эффективности использования цемента. **Методика.** Экспериментальные исследования по оптимизации составов и свойств бетонов выполняли с применением методов математического планирования экспериментов. Все эксперименты проведены по ортогональному плану с тремя переменными. В качестве варьируемых факторов приняты показатели расхода применяемого цемента, воды и добавки ПЛКП-2. **Результаты.** Выполнены обширные экспериментальные исследования по определению рациональных составов бетонных смесей с использованием в качестве заполнителей граншлака завода имени Петровского и песка днепропетровского, в качестве вяжущего – криворожского портландцемента марки П/Б-Ш-400, а наполнителя – золы уноса Приднепровской ТЭС. Основным критерием рациональности состава бетона принят коэффициент эффективности использования цемента, определяемый по отношению достигнутой прочности на единицу массы использованного цемента. Повышение значения этого коэффициента достигается с помощью полученной ранее закономерности рационального зернового состава компонентов, который обеспечивается при соотношении расхода крупной фракции к средней и к мелкой 52:23:25, а их размеров примерно 100:10:1. Проведены экспериментальные исследования с использованием метода математического планирования экспериментов. По результатам обработки полученных данных построены изополя зависимости прочности и коэффициента эффективности использования цемента от исследуемых факторов. **Научная новизна.** Сравнительными испытаниями прочности затвердевшего бетона, полученного на основе различных местных вторичных ресурсов и модифицированного комплексной пластифицирующей добавкой ПЛКП-2, установлено, что наиболее эффективными являются легкие бетоны плотностью 1 700...1 800 кг/м³ с пределом прочности на сжатие от 5 до 20 МПа на основе граншлака завода имени Петровского с наполнителем из золы уноса Приднепровской ТЭС при обеспечении рационального зернового состава компонентов с соотношением составляющих фракций крупной к средней и к мелкой 52:23:25. **Практическая значимость.** Определены составы легкой мелкозернистой смеси на основе граншлака завода имени Петровского с наполнителем из золы уноса Приднепровской ТЭС, модифицированной комплексной пластифицирующей добавкой ПЛКП-2, которые обеспечивают требуемую прочность бетона при сжатии в пределах 5...10 МПа при уменьшенном примерно на 20 % расходе цемента по сравнению с традиционно применяемыми для этих целей составами.

Ключевые слова: зола уноса; цемент; вторичные продукты промышленности; эффективность; бетонная смесь; легкие бетоны; граншлак; зерновой состав; наполнитель

Введение

Утилизация вторичных продуктов промышленности в бетонах позволяет решать важные экологические, экономические и энергетические проблемы. В Днепропетровском регионе целесообразно утилизировать золы уноса Приднепровской ТЭС в легких бетонах и получать требуемые их свойства на основе граншлака завода имени Петровского.

Цель

Определение закономерностей влияния расхода компонентов легких бетонов, получаемых на основе местных вторичных продуктов промышленности, на их основные свойства при условии повышенной эффективности использования цемента. В качестве легкого заполнителя принят граншлак завода имени Петровского, а наполнителя – зола уноса Приднепровской ТЭС.

Методика

Для достижения поставленной цели выбран трехфакторный метод математического моделирования на основании ортогонального плана с тремя переменными. В качестве переменных принимали расход цемента (X_1), добавки ПЛКП-2 (X_2), а также воды (X_3). Расход последней варьировали в нешироком диапазоне, чтобы обеспечить незначительное изменение удобоукладываемости и требуемое уплотнение бетонной смеси стандартной вибрацией.

В качестве оптимизируемого параметра принята прочность бетона в 28-ми суточном возрасте при нормальных (стандартных) условиях твердения, по отдельным экспериментам – в годичном возрасте. Расход цемента принят в килограммах, воды в литрах на кубометр бетона, а добавки ПЛКП-2 – в процентах от массы цемента. При изменении расхода цемента изменялся и расход золы уноса Приднепровской ТЭС так, чтобы сумма этих компонентов оставалась постоянной и равной 550 кг. В отдельных экспериментах вместо золы уноса использовали в качестве наполнителя хвосты обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа. Таким образом поддерживался рациональный зерновой состав компонентов бетонной смеси. Цемент использовался активностью

около 40 МПа. Приняты постоянными значения расхода на кубометр бетона: граншлака 675 кг, песка 400 кг.

Расчет математической модели эксперимента и построение графических зависимостей выполнялись по специальной программе, разработанной в ОДАБА на кафедре «Процессы и аппараты в технологии строительных материалов» проф. В. А. Вознесенским и доц. Б. Л. Огарковым.

Результаты

В рамках решения важных экологических, энергетических и экономических проблем Украины строителям необходимо максимально использовать местные вторичные продукты промышленности для обеспечения требуемых свойств бетонов при минимально необходимом количестве цемента. Улучшать физико-механические характеристики таких бетонов и технологические свойства бетонных смесей можно за счет использования пластифицирующих добавок местного производства. Одним из направлений решения этой важной для Днепропетровского региона проблемы является производство легких бетонов на основе граншлака завода имени Петровского с использованием в качестве наполнителя золы уноса Приднепровской ТЭС. Успешное ее решение возможно за счет определения рациональных составов таких бетонов при максимально эффективном использовании цемента в них.

Проблемам утилизации в бетонах зол уноса тепловых электростанций и эффективного использования цемента в таких бетонах с различными заполнителями посвящено много работ отечественных [1–4, 7, 8, 10], а также зарубежных авторов [11–14]. Это одна из главных проблем бетоноведения. Важно определить необходимое количество каждой составляющей для обеспечения требуемых физико-механических характеристик при минимально необходимом количестве цемента. Исследователями предложено множество вариантов решения этой задачи.

Нами в основу определения составов бетонов, в том числе с вторичными компонентами местной промышленности, положен принцип обеспечения рационального зернового состава компонентов, при реализации которого существенно повышается эффективность использования цемента [5, 6].

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

На основе анализа ранее полученных результатов исследований, в том числе с применением методов математического планирования экспериментов, определены составы бетонов, которые соответствуют требованиям п. 5.4 СНиП 2.03.13-88 [9] к подстилающим слоям пола. При этом важно обеспечить требуемую прочность при минимальном расходе цемента, который является наиболее дорогой и энергоемкой составляющей бетона. В частности, в этих нормах для обеспечения нормированного теплоусвоения пола рекомендуется использовать легкий бетон стяжек, предел прочности при сжатии которого должен соответствовать классу В5. Следовательно, с учетом коэффициента вариации 0,135 и масштабного коэффициента для приведения прочности бетона в образцах с размером стороны куба 100 мм к прочности бетона в образце базового размера 150 мм, который в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-90 (табл. 5) равен 0,95, такой бетон должен иметь средний предел прочности на сжатие около 7,0 МПа.

Экспериментальные исследования по оптимизации составов и свойств бетонов проводили с применением методов математического планирования экспериментов. Все эксперименты выполнены по ортогональному плану с тремя переменными. В качестве варьируемых факторов приняты значения расхода применяемого цемента (Ц), воды (В) и добавки ПЛКП-2 (Д). Кодовые и натуральные значения варьируемых факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Кодовые и натуральные значения
варьируемых факторов

Код	Натуральные значения		
	Ц, кг (X_1)	В, л (X_2)	Д, % (X_3)
– 1	150	210	0,5
0	250	230	1,0
+ 1	350	250	1,5

Эффективность использования цемента стандартной активности во всем диапазоне исследований предела прочности бетона на сжатие в 28-мисуточном возрасте наибольшая при минимальном расходе воды, который в исследованиях составлял 210 литров на кубометр

бетонной смеси. Удобоукладываемость бетонной смеси всех исследуемых составов, определяемая по осадке стандартного конуса, при изменении расхода воды в исследуемом диапазоне не изменялась несущественно. Кроме того, визуальными наблюдениями установлено, что бетонная смесь достаточно легко и быстро уплотнялась при воздействии стандартной вибрации при любом расходе воды в исследуемом диапазоне.

Эта особенность бетонных смесей, вероятно, связана с тем, что в исследованиях использовались вторичные ресурсы с развитой пористой поверхностью. Поэтому водопотребность смесей значительно больше, чем тяжелых бетонов на песке и щебне. Но после достижения расхода воды свыше 200 литров на кубометр бетонной смеси она сохраняет достаточно хорошую удобоукладываемость при изменении расхода воды в пределах 50 литров.

Учитывая, что в производственных условиях при укладке подстилающих слоев пола бетонная смесь легкого бетона укладывается тонким (4–8 см) слоем с использованием для уплотнения и заглаживания поверхности виброреек с частотой вибрации не ниже 50 Гц, целесообразно использовать бетонную смесь с расходом воды около 210 литров на кубометр бетонной смеси.

Расход применяемой пластифицирующей добавки менее существенно влияет на эффективность использования цемента. Но поскольку она несколько выше в основном при ее расходе около 1 % от массы цемента, то целесообразно использовать такой расход пластифицирующей добавки.

Эффективность использования цемента, как правило, возрастает по мере увеличения его расхода на кубометр бетонной смеси. Но это увеличение несущественно. Кроме того, предел прочности затвердевшего бетона на сжатие наиболее существенно зависит от расхода цемента. Поэтому определять требуемые составы бетонов для конкретных условий необходимо из условий минимально необходимого расхода цемента для обеспечения требуемого предела прочности бетона на сжатие.

Диапазон поиска рациональных составов легкого бетона стяжки, выполняемой для обеспечения нормированного теплоусвоения пола в соответствии с требованиями п. 5.4

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

СНиП 2.03.13-88, который должен иметь средний предел прочности на сжатие 7,0 МПа при использовании цемента активностью около 40,0 МПа, определим, воспользовавшись представленными на рис. 1 и 2 зависимостями. При использовании в качестве заполнителя только граншлака завода имени Петровского и песка, а в качестве добавки-наполнителя золы уноса Приднепровской ТЭС предел прочности на сжатие 7,0 МПа можно получить при минимальном в исследуемом диапазоне расходе цемента 150 кг на кубометр бетонной смеси, расходе воды 210 литров на кубометр бетонной смеси и пластифицирующей добавки ПЛКП-2 0,5...1,5 % от массы цемента (см. рис. 1, а).

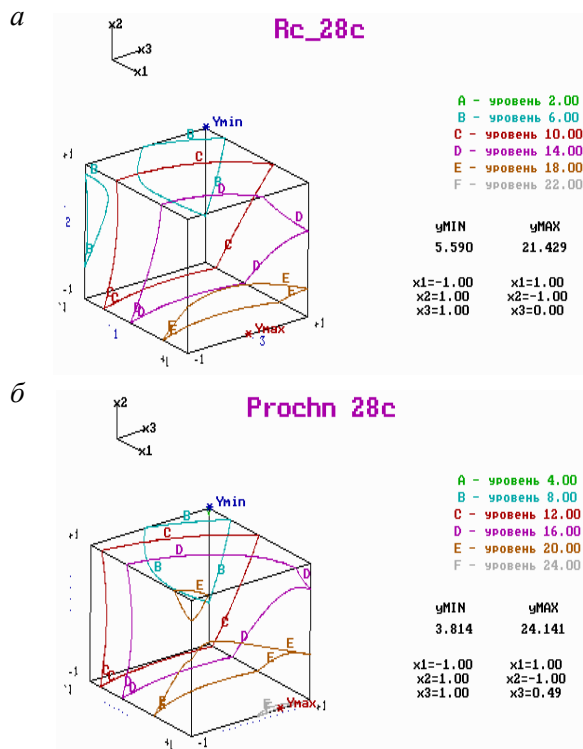


Рис. 1. Номограммы зависимости прочности бетона в 28-мисуточном возрасте от варьируемых факторов при использовании в качестве наполнителя:

а – золы уноса Приднепровской ТЭС;
б – хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа

Как следует из представленных на этом рисунке зависимостей, предел прочности бетона на сжатие увеличивается при снижении расхода воды незначительно и остается примерно таким, как требуется для наших целей. Поэтому очевидно, что необходимый предел прочности

на сжатие 7,0 МПа можно получить при расходе воды от 210 до 230 литров, при котором обеспечивается достаточная удобоукладываемость бетонной смеси, и расходе цемента около 150 кг на кубометр бетонной смеси. Для уточнения состава нижнюю границу расхода цемента можно принять около 140 кг на кубометр бетонной смеси.

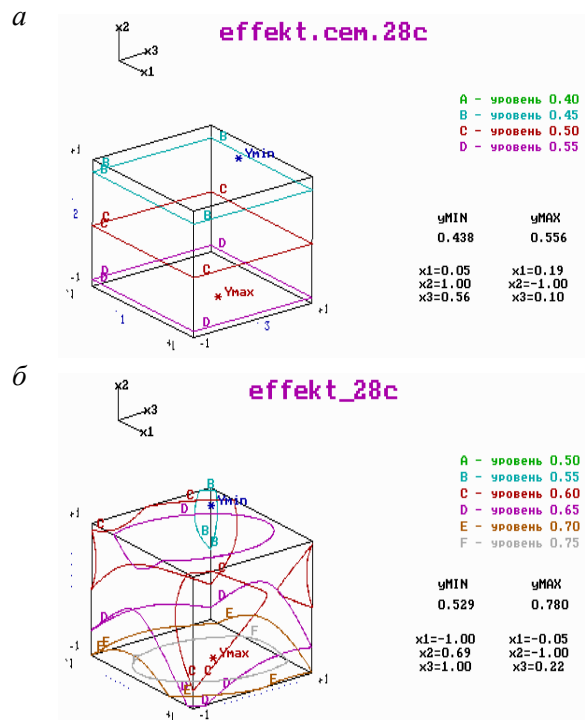


Рис. 2. Номограммы зависимости коэффициента эффективности использования цемента в бетоне 28-мисуточного возраста от варьируемых факторов при использовании в качестве наполнителя:

а – золы уноса Приднепровской ТЭС;
б – хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа

Для получения этой же прочности при использовании в качестве добавки-наполнителя хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа расход цемента требуется меньше минимального в исследуемом диапазоне, который составляет 150 кг на кубометр бетонной смеси (см. рис. 1, б). Расход воды требуется в диапазоне от 210 до 250 литров на кубометр бетонной смеси и пластифицирующей добавки ПЛКП-2 от 0,5 до 1,0 % от массы цемента. Как следует из представленных на этом рисунке зависимостей, прочность бетона увеличивается при снижении расхода воды незначительно и остается примерно такой, как требуется для

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

наших целей. Поэтому очевидно, что необходимый предел прочности бетона на сжатие 7,0 МПа можно получить при расходе воды от 210 до 250 литров, при котором обеспечивается достаточная удобоукладываемость бетонной смеси, и расходе цемента около 150 кг на кубометр бетонной смеси. Для уточнения состава нижнюю границу расхода цемента можно принять около 130 кг на кубометр бетонной смеси. А уточнить минимально необходимый расход цемента для получения требуемого предела прочности бетона на сжатие необходимо в процессе проведения дополнительных исследований.

Учитывая вышеприведенный анализ результатов обработки экспериментальных исследований, выполненных с применением методов математического планирования экспериментов, определим составы для поиска и уточнения рациональных, которые можно использовать при укладке подстилающих слоев пола. Эти составы и результаты определения предела прочности на сжатие контрольных образцов бетона в 28-мисуточном возрасте представлены в табл. 2 с использованием в качестве добавки-наполнителя золы уноса Приднепровской ТЭС и хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа.

В результате установлены следующие закономерности. Требуемый предел прочности бетона на сжатие 7,0 МПа можно получить в исследуемом диапазоне при использовании в со-

ставах в качестве наполнителя как золы уноса Приднепровской ТЭС, так и хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа.

В процессе приготовления и укладки бетонных смесей на строительной площадке трудно обеспечить точную дозировку компонентов, может изменяться их влажность, оказывают влияние некоторые другие производственные факторы. Поэтому при гарантированном обеспечении требуемой нормативной прочности бетона в подстилающих слоях пола для обеспечения нормированного теплоусвоения в соответствии с требованиями п. 5.4 СНиП 2.03.13-88 целесообразно принять составы № 2 и 5 из табл. 2. Следовательно, при использовании в качестве добавки-наполнителя золы уноса Приднепровской ТЭС целесообразно использовать такой номинальный состав на кубометр бетонной смеси: цемента 160 кг, граншлака завода имени Петровского 675 кг, золы уноса Приднепровской ТЭС 390 кг, песка 400 кг, воды 230 литров, а хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа: цемента 150 кг, граншлака завода имени Петровского 675 кг, хвостов обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа 400 кг, песка 400 кг, воды 230 литров. В производственных условиях эти составы следует корректировать в зависимости от влажности используемых компонентов, но при этом оставлять в вышеуказанных пределах рациональный зерновой состав компонентов.

Таблица 2

Составы бетонной смеси для укладки подстилающих слоев пола и результаты их испытаний

№ состава	Расход материалов на 1 м ³ , кг			Уд-укл. ОК, см	Плотность, кг/м ³	Предел прочности R ₆ ²⁸ , МПа	10 R ₆ ²⁸ /Ц
	Цемент	Хвосты	Зола				
1	130	420	—	1,5	1 750	7,7	0,59
2	150	400	—	1,0	1 730	8,9	0,59
3	170	380	—	1,0	1 760	10,2	0,60
4	140	—	410	1,5	1 780	7,3	0,52
5	160	—	390	1,5	1 770	8,2	0,51
6	180	—	370	1,0	1 720	8,9	0,49

Примечание: 1. Для всех составов расход граншлака завода им. Петровского на 1 м³ составляет 675 кг, песка – 400 кг, воды – 230 л, содержание добавки местного производства ПЛКП-2 – 1 % от массы цемента. 2. В составах использовался цемент марки П/Б-Ш-400 активностью около 40,0 Мпа, хвосты обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа и зола уноса Приднепровской ТЭС.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Научная новизна и практическая значимость

Сравнительными испытаниями прочности затвердевшего бетона, полученного на основе различных местных вторичных ресурсов и модифицированного комплексной пластифицирующей добавкой ПЛКП-2, установлено, что наиболее эффективными являются легкие бетоны плотностью $1\,700 \dots 1\,800 \text{ кг/м}^3$ с пределом прочности на сжатие от 5 до 20 МПа на основе граншлака завода имени Петровского с наполнителем из золы уноса Приднепровской ТЭС при обеспечении рационального зернового состава компонентов с соотношением составляющих фракций крупной к средней и к мелкой 52:23:25. Определены составы легкой мелкозернистой смеси на основе граншлака завода имени Петровского с наполнителем из золы уноса Приднепровской ТЭС, модифицированной комплексной пластифицирующей добавкой ПЛКП-2, которые обеспечивают требуемую прочность бетона при сжатии в пределах $5 \dots 10$ МПа при уменьшенном примерно на 20 % расходе цемента по сравнению с традиционно применяемыми для этих целей составами.

Выводы

1. При обеспечении рационального зернового состава компонентов можно получить легкие бетоны заданной прочности на основе граншлака завода имени Петровского, используя в качестве наполнителя золу уноса Приднепровской ТЭС или хвосты обогащения железных руд Криворожского ЮГОКа.

2. Для обеспечения требуемой прочности легкого бетона класса В5 на основе местных вторичных продуктов промышленности достаточно 150 кг цемента на кубометр бетонной смеси.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Большаков, В. И. Повышение реакционной способности доменного гранулированного шлака / В. И. Большаков, С. А. Щербак, М. А. Елисеева // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сер. : Стародубовские чтения 2011 : сб. науч. тр. – Д., 2011. – Вып. 59, т. II. – С. 34–38.
2. Дворкин, Л. И. Строительные минеральные вяжущие материалы / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – М. : Инфра-Инженерия, 2011. – 544 с.
3. Мелкозернистые бетоны на основе механоактивированных доменных гранулированных шлаков / В. И. Большаков, М. А. Елисеева, О. С. Щербак, С. А. Щербак // Theoretical Foundations of Civil Engineering. Polish-Ukrainian – Lithuanian Transactions. – 2012. – Vol. 20. – P. 431–436.
4. Мирюк, О. А. Мелкозернистые бетоны на основе техногенного заполнителя / О. А. Мирюк // Бетон и железобетон в Украине. – 2010. – № 2. – С. 5–8.
5. Нетеса, Н. И. Легкие бетоны на основе граншлака завода имени Петровского / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 35. – С. 156–161.
6. Нетеса, Н. И. Проектирование составов легких бетонов со вторичными ресурсами Днепровского региона / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 33. – С. 180–184.
7. Повышение качества строительных материалов за счет применения техногенных отходов и механоактивации смеси / В. И. Большаков, С. А. Щербак, М. А. Елисеева, Н. В. Калиниченко // Наук. вісн. буд-ва : зб. наук. пр. – Х., 2010. – Вип. 59. – С. 223–226.
8. Сергеев, А. М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности / А. М. Сергеев. – К. : Будівельник, 1984. – 120 с.
9. СНиП 2.03.13-88 Полы. – Взамен СНиП II-B.8-71 ; введ. 01.01.89. – М. : Госстрой СССР, 1989. – 15 с.
10. Щербак, С. А. Загальна характеристика металургійних шлаків / С. А. Щербак, Н. В. Калиниченко, М. О. Єлісєєва // Вісн. Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт. – Д., 2010. – № 2–3. – С. 23–28.
11. Aggarwal, V. Concrete Durability Through High Volume Fly ash Concrete / V. Aggarwal, Dr. S. M. Gupta, Dr. S. N. Sachdeva // Intern. J. of Engineering Science and Technology. – 2012. – № 2. – P. 4473–4477.
12. Marthong, C. Effect of Fly Ash Additive on Concrete Properties / C. Marthong, T. P. Agrawal // Intern. J. of Engineering Research and Applications. – 2012. – № 2. – P. 1986–1991.
13. Raheem, A. A. Saw Dust Ash as Partial Replacement for Cement in Concrete / A. A. Raheem, B. S. Olasunkanmi, C. S. Folorunso // Organization, technology and management in construction. – 2012. – № 4. – P. 474–480.
14. Review on fly ash-based geopolymers concrete without Portland Cement / A. M. M. A. Bakri, H. Mohammed, H. Kamarudin et al. // J. of Engineering and Technology Research. – 2011. – № 1. – P. 1–4.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

М. І. НЕТЕСА¹, Д. В. ПАЛАНЧУК², А. М. НЕТЕСА^{1*}

¹Каф. «Будівельне виробництво і геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 195 50 27, ел. пошта andreynetes@meta.ua

²Каф. «Будівельне виробництво і геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 195 50 27, ел. пошта stroitel_p@mail.ru

^{1*}Каф. «Будівельне виробництво і геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 195 50 27, ел. пошта andreynetes@meta.ua

ЛЕГКІ БЕТОНИ ІЗ ЗОЛОЮ ВИНЕСЕННЯ ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ТЕС

Мета. Визначення закономірностей впливу витрат компонентів легких бетонів, одержаних на основі місцевих вторинних продуктів промисловості, на їхні основні властивості за умови підвищеної ефективності використання цементу. **Методика.** Експериментальні дослідження з оптимізації складів і властивостей бетонів виконували із застосуванням методів математичного планування експериментів. Усі експерименти проведені за ортогональним планом з трьома змінними. Як варійовні фактори прийняті значення витрати застосовуваного цементу, води та домішки ПЛКП-2. **Результати.** Виконано численні експериментальні дослідження з визначення раціональних складів бетонних сумішей із використанням як заповнювачів граншлаку заводу імені Петровського і піску дніпровського, як в'язучого – криворізького портландцементу П/Б-Ш-400, а як наповнювача – золи винесення Придніпровської ТЕС. Основним критерієм раціональності складу бетону прийнято коефіцієнт ефективності використання цементу, який визначається за відношенням досягнутої міцності на одиницю маси використаного цементу. Підвищення значення цього коефіцієнта досягається за рахунок отриманої раніше закономірності раціонального зернового складу компонентів, який забезпечується при співвідношенні витрати великої фракції до середньої і до дрібної 52:23:25, а їх розмірів приблизно 100:10:1. Проведено експериментальні дослідження з використанням методу математичного планування експериментів. За результатами обробки отриманих даних побудовані ізополя залежності міцності й коефіцієнта ефективності використання цементу від досліджуваних факторів. **Наукова новизна.** Порівняльними випробуваннями міцності затверділого бетону, отриманого на основі різних місцевих вторинних ресурсів модифікованого комплексною пластифікувальною домішкою ПЛКП-2, встановлено, що найефективнішими є легкі бетони густиною 1 700...1 800 кг/м³ з межею міцності на стиск від 5 до 20 МПа на основі граншлаку заводу імені Петровського з наповнювачем із золи винесення Придніпровської ТЕС при забезпеченні раціонального зернового складу компонентів із співвідношенням складових фракцій великої до середньої і до дрібної 52:23:25. **Практична значимість.** Визначено склади легкої дрібнозернистої суміші на основі граншлаку заводу імені Петровського з наповнювачем із золи винесення Придніпровської ТЕС, модифікованої комплексною пластифікувальною домішкою ПЛКП-2, які забезпечують необхідну міцність бетону при стиску в межах 5...10 МПа при зменшеній приблизно на 20 % витраті цементу порівняно зі складами, які традиційно застосовуються з цією метою.

Ключові слова: зола винесення; цемент; вторинні продукти промисловості; ефективність; бетонна суміш; легкі бетони; граншлак; зерновий склад; наповнювач

M. I. NETESA¹, D. V. PALANCHUK², A. M. NETESA^{1*}¹Dep. «Building Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 195 50 27, e-mail andreynetesa@meta.ua²Dep. «Building Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 195 50 27, e-mail stroitel_p@mail.ru^{1*}Dep. «Building Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 195 50 27, e-mail andreynetesa@meta.ua

LIGHTWEIGHT CONCRETES WITH FLY-ASH OF PRYDNIPROVSK THERMAL POWER STATION

Purpose. Determination of conformities to law of influence of expense of components of easy concretes, which turn out on the basis of local afterproducts of industry, on their basic properties under conditions of enhanceable efficiency of the use of cement. **Methodology.** Experimental studies on optimization of structures and properties of concrete were carried out with use of mathematical planning experiments methods. All experiments were carried out on orthogonal design with three variables. Cement, water and additives PLKP-2 consumption were taken as varied factors. **Findings.** Vast experimental studies on determination of rational compositions of concrete mixtures were conducted with the use as fillers of granulated slag from iron and steel plant named after Petrovskiy and Dnepr sand, as binding agent Krivoy Rog portland-cement II/B-III-400, as filler fly-ash of Pridneprovsk Thermal Power Station. Efficiency coefficient of cement use was adopted as basic criterion of concrete composition rationality, it is determined on the relation of the attained durability per unit weight of used cement. For greater efficiency coefficient of cement use regularity of rational grain composition of components previously obtained was adopted, it is provided at a ratio of a large fraction consumption to medium and small 52:23:25, and their sizes are approximately 100:10:1. Experimental studies with use of mathematical planning experiments method were carried out. By results of their processing isofields were constructed according to the strength and effectiveness of the use of cement ratio of the studied factors. **Originality.** By strength comparative tests of hardened concrete with various local secondary resources, modified with complex plasticizer PLKP-2 additive, it was found that lightweight concrete with the density of 1700...1800 kg/m³ and concrete compressive strength from 5 to 20 MPa on the basis of granulated slag from the iron and steel plant named after Petrovskiy filled with fly-ash of Pridneprovsk Thermal Power Station during ensuring of rational grain composition of components with a ratio of major components of the fractions to medium and small 52:23:25 are the most effective. **Practical value.** Compositions of lightweight fine grained mixture based on granulated slag from the iron and steel plant named after Petrovskiy filled with fly-ash of Pridneprovsk Thermal Power Station and modified with complex plasticizer PLKP-2 additive were determined. They provide required concrete compressive strength within 5...10 MPa at a reduced cement consumption by approximately 20% as compared to the traditionally used compositions for these purposes.

Keywords: fly-ash; cement; after products of industry; efficiency; concrete mixture; lightweight concretes; granulated slag; filler

REFERENCES

1. Bolshakov V.I., Shcherbak S.A., Yeliseyeva M.A. *Povysheniye reaktivnoy sposobnosti domennogo granulirovannogo shlaka* [Increase of reactionary ability of blast-furnace granulated slag], 2011, issue 59, vol. II, pp. 34-38.
2. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. *Stroitelnyye mineralnyye vyazhushchiye materialy* [Building mineral binding materials]. Moscow, Infra-Inzheneriya Publ., 2011. 511 p.
3. Bolshakov V.I., Yeliseyeva M.A., Shcherbak O.S., Shcherbak S.A. Melkozernistyye betony na osnove mekhanooaktivirovannykh domennykh granulirovannykh shlakov [Fine grained concrete on the basis of mechanoactivated blast-furnace granulated slags]. *Theoretical Foundations of Civil Engineering. Polish-Ukrainian – Lithuanian Transactions*, 2012, vol. 20, pp. 431-436.
4. Miryuk O.A. Melkozernistyye betony na osnove tekhnogenogo zapolnitelya [Fine-grained concretes on the basis of technogenic filler]. *Beton i zhelezobeton v Ukraine – Concrete and reinforced concrete in Ukraine*, 2010, issue 2, pp. 5-8.
5. Netesa N.I., Palanchuk D.V. Legkiyye betony na osnove granshlaka zavoda imeni Petrovskogo [Lightweight concretes on the basis of granulated slag from the iron and steel plant named after Petrovskiy]. *Visnyk Dni-*

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- propetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 33, pp. 156-161.
6. Netesa N.I., Palanchuk D.V. Proyektirovaniye sostavov legkikh betonov so vtorichnymi resursami Dneprovskogo regiona [Planning of lightweight concrete compositions with the recoverable resources in Dnepr region]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue. 33, pp.180-184.
 7. Bolshakov V.I., Shcherbak S.A., Yelisseyeva M.A., Kalinichenko N.V. Povysheniye kachestva stroitelnykh materialov za schet primeneniya tekhnogennykh otkhodov i mekhanoaktivatsii smesi [Improving building materials quality through the use of technogenic waste and mechanical activation of the mixture]. *Naukovyi visnyk budivnytstva* [Construction Scientific Bulletin], 2010, issue 59, pp. 223-226.
 8. Sergeyev A.M. *Ispolzovaniye v stroitelstve otkhodov energeticheskoy promyshlennosti* [Use energy industry waste in construction]. Kyiv, Budivelnik Publ., 1984. 120 p.
 9. SNiP 2.03.13-88. *Poly* [Floors]. Moscow, Gosstroy Publ, 1989. 15 p.
 10. Shcherbak S.A., Kalynychenko N.V., Yelisieieva M.O. Zahalna kharakterystyka metalurhiinykh shlakiv [General description of metallurgical slags]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydnipropetrovsk State Academy of Construction and Architecture], 2010, issue 2-3, pp. 23-28.
 11. Aggarwal V., Dr. Gupta S.M., Dr. Sachdeva S.N. Concrete Durability Through High Volume Fly ash Concrete. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2012, no. 2, pp. 4473-4477.
 12. Marthong C., Agrawal T.P. Effect of Fly Ash Additive on Concrete Properties. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2012, no. 2, pp. 1986-1991.
 13. Raheem A.A., Olasunkanmi B.S., Folorunso C.S. Saw Dust Ash as Partial Replacement for Cement in Concrete. *Organization, technology and management in construction*, 2012, no. 4, pp. 474-480.
 14. Bakri A.M.M.A., Mohammed H., Kamarudin H., Khairull Nizar I., Zarina Y. Review on fly ash-based geopolymer concrete without Portland Cement. *Journal of Engineering and Technology Research*, 2011, no. 1, pp. 1-4.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Украина); д.т.н., проф. В. М. Деревянко (Украина)

Поступила в редколлегию 19.06.2013

Принята к печати 22.08.2013

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

УДК 378.147.091.31-059.2:796.012.2

О. М. ДОЦЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Фізичне виховання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 373 16 54, ел. пошта dociya22@rambler.ru

РОЗВИТОК КООРДИНАЦІЙНИХ ЗДІБНОСТЕЙ СТУДЕНТОК СПЕЦІАЛЬНОЇ МЕДИЧНОЇ ГРУПИ В ПРОЦЕСІ ФІЗИЧНОГО ВИХОВАННЯ

Мета. Проаналізувати проблеми розвитку рухових можливостей та зміцнення здоров'я студенток спеціальної медичної групи в процесі фізичного виховання в технічному ВНЗ. Визначити провідні фактори, показники й взаємозв'язки фізичного розвитку й фізичної підготовленості та координаційні здібності студенток спеціальної медичної групи. Встановити закономірності оволодіння точнісними рухами різної координаційної структури та розробити модельні характеристики взаємозв'язків координаційних здібностей і рухових якостей студенток спеціальної медичної групи. Обґрунтувати та перевірити ефективність методики розвитку координаційних здібностей студенток з урахуванням їх функціонального стану в процесі фізичного виховання у ВНЗ. **Методика.** Подано теоретико-методичне обґрунтування й характеристику експериментальної програми з фізичного виховання для студенток спеціальної медичної групи. **Результати.** Дослідження полягає в розробці змісту занять у спеціальних медичних групах з використанням координаційних елементів та вправ для підвищення рухових можливостей студенток. Вивчено їх вплив на рівень фізичного розвитку, функціональної підготовленості студенток спеціальної медичної групи, а також закономірності оволодіння й керування рухами різної координаційної структури. Наведено порівняльну характеристику рухових можливостей студенток, диференційованих на групи за нозологіями, у динаміці педагогічного процесу; визначено критерії підвищення резервних можливостей моторної системи під час керування рухами різної координаційної структури. **Наукова новизна.** Вперше була впроваджена методика розвитку координаційних здібностей студенток спеціальної медичної групи, яка спрямована на формування та корекцію системи керування рухами різної координаційної структури, відчуття положення тіла та окремих його частин у просторі, поліпшення м'язово-суглобної чутливості; визначено вплив експериментальної програми на рівень розвитку і взаємозв'язки координаційних здібностей; визначено критерії резервних можливостей системи керування точнісними рухами. **Практична значимість.** Полягає в розробці змісту занять у спеціальних медичних групах з використанням координаційних вправ та елементів для підвищення рухових можливостей студенток. Удосконалено організаційні та методичні аспекти проведення занять у спеціальних медичних групах з визначенням навантаження для студенток, які мають різні відхилення у стані здоров'я. Розроблено математичні моделі, що характеризують рухові, зокрема координаційні, можливості студенток спеціальної медичної групи. На основі розроблених показників можна враховувати функціональну та фізичну підготовленість студентів і формувати оптимальні режими рухової активності для кожної нозологічної групи, що особливо актуально для організації навчального процесу з фізичного виховання у вищій школі.

Ключові слова: координаційні здібності; студентки; спеціальна медична група; рухові якості; взаємозв'язки; моделі

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Вступ

В умовах сучасного суспільства, коли від фізичного й інтелектуального стану молоді залежить майбутнє нашої країни, особливо важливим є завдання збереження й зміцнення здоров'я молодого покоління. Фізичне виховання у вищій школі не сприяє ефективному розв'язанню питань зменшення дефіциту рухової активності студентів, який є однією з причин різного роду відхилень у стані їх здоров'я. Встановлено, що протягом навчання у ВНЗ чисельність підготовчої і спеціальної медичних груп зростає від 5,36 % на першому курсі до 14,46 % на четвертому курсі. Відповідно спостерігається зменшення чисельності основної групи з 84 до 70,2 % [3, 5, 9].

Однак ситуація зі спеціальними медичними групами (СМГ) рідко стає предметом наукових досліджень. Дотепер відсутні достатні відомості про можливості рухової системи у осіб з відхиленнями в стані здоров'я. Неповністю висвітлено питання впливу різних програм фізичного виховання як на співвідношення та взаємозв'язки рухових якостей, координаційних здібностей (КЗ), так і на можливості системи керування рухами різної координаційної структури [2, 8] у студентів з послабленим здоров'ям, на залежність стану їх здоров'я від активності та стану рухової системи і навпаки. Потребують подальшої розробки підходи до зміцнення фізичного [7] здоров'я студентів через кероване підвищення КЗ як найважливішого фактора, що визначає якість керування рухами й можливості рухової системи [8], недостатньо обгрунтовані відповідні критерії, програми, методики і т. д.

Вирішення ж поставленої проблеми за допомогою розробки науково обгрунтованої системи дидактичних засобів і методів удосконалювання фізичного виховання у ВНЗ (через розвиток КЗ) [4, 6, 10] дозволить підвищувати можливості системи керування рухами і організму в цілому, а також зміцнювати здоров'я студентів.

Однак проблемі розвитку КЗ у молоді з різними відхиленнями в стані здоров'я не приділено достатньої уваги, хоча вона є надзвичайно складною та важливою для вирішення питань, пов'язаних з формуванням професійних рухових навичок і умінь у студентів з вадами здоров'я.

Недостатнє висвітлення проблеми, її важливість та актуальність для теорії і практики фі-

зичного виховання та для суспільства в цілому зумовили вибір мети, завдань та методів дослідження.

Мета

Теоретико-методичне та експериментальне обгрунтування методики розвитку координаційних здібностей студенток спеціальної медичної групи для підвищення рівня їх рухових можливостей, покращення фізичного стану та зміцнення здоров'я в процесі фізичного виховання у ВНЗ.

Методика

Студентки (192 особи), які брали участь у формувальному експерименті, на початку навчального року були розбиті на дві групи – контрольну (КГ) і експериментальну (ЕГ). В ЕГ у рамках державної програми з фізичного виховання для ВНЗ була запропонована додаткова програма розвитку координаційних здібностей і зміцнення здоров'я.

Методологічні принципи системного підходу, теорії керування рухами, погляди М. О. Бернштейна на розвиток спритності, координації рухів [1] стали теоретичною базою для підбору фізичних вправ, що охоплюють різні координаційні здібності, які проявляються через рухи різних рівнів керування.

Основним засобом виховання координаційних здібностей були фізичні вправи підвищеної координаційної складності з елементами новизни. Складність фізичних вправ збільшувалася за рахунок зміни їх просторових, часових і динамічних параметрів, площі опори у вправах на рівновагу, функціональної депривації окремих сенсорних систем і т. ін.; комбінування рухових навичок: сполучень ходьби зі стрибками, ловлею предметів і бігом; виконання вправ за сигналом або за обмежений час. Музичний супровід, використання танцювальних елементів, ігровий характер виконання багатьох вправ сприяли зростанню емоційної насиченості й щільності занять. Розроблено систему домашніх завдань.

Умовно студентки спеціальної медичної групи (СМГ) були розбиті на три мікрогрупи: 1) з порушенням опорно-рухового апарату; 2) із захворюваннями шлунково-кишкового тракту й сечостатевої системи; 3) із серцево-судинною, легеневою та ендокринною патологією.

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Під час організації занять застосовувався індивідуально-груповий метод. Мета й зміст програми, обсяг і терміни її виконання були загальними й обов'язковими для всіх студенток, але при цьому розподіл навантажень, їх тривалість, обсяг і спрямованість регулювалися окремо для студенток, об'єднаних у вказані вище підгрупи. Це дозволяло за умови виконання програми заняття в цілому диференційовано корегувати навантаження, враховувати фізичний стан студенток, специфіку відхилень у стані їхнього здоров'я.

Взявши як параметри, що детермінують прояв рухової функції студенток, соматометричні показники, координаційні здібності, показники, що характеризують рівень розвитку рухових якостей, а також якість керування локальними й регіональними точнісними рухами, для оцінки виконуваних рухів ми застосовували різні статистичні методи обробки й аналізу експериментального матеріалу. Побудовано графічні й математичні моделі, здійснювалося експериментальне моделювання.

Результати

У результаті проведення експерименту поліпшився фізичний стан і стан здоров'я студенток (табл. 1): в ЕГ показники покращилися в середньому на $21,1 \pm 5,4$ %, у КГ – на $7,8 \pm 2,1$ %, при цьому в основну групу було переведено 7,5 % студенток ЕГ і 3,5 % – КГ.

З антропометричних показників наймінливішими виявилися обхватні розміри грудної клітки й талії в студенток ЕГ, достовірне зменшення яких за відносно малих змін маси й довжини тіла відбиває специфіку позитивного впливу фізичного виховання на остаточне формування структури фізичного розвитку дівчат, формування пропорцій тіла жіночого організму.

Більші позитивні зміни відбулися в ЕГ майже за всіма показниками, що характеризують координаційні здібності (див. табл. 1), якість рухового регулювання, швидкісні, швидкісно-силові, силові можливості й загальну витривалість. У студенток ЕГ підвищилася працездатність у тесті PWC_{170} , стала менш вираженою реакція на дозоване фізичне навантаження, прискорився процес відновлення ЧСС після тестування порівняно з КГ і з даними до експерименту. У цілому це свідчить про збільшення можливостей їхньої рухової системи й відбиває ефективність пропонованих методичних і організаційних підходів у забезпеченні фізичного виховання студенток ЕГ.

У процесі експерименту виявлена близькість факторної структури фізичного розвитку й фізичної підготовленості студенток ЕГ і КГ, співвідношення морфологічних, швидкісних, силових, швидкісно-силових, координаційних і функціональних компонентів якої мало змінюється в процесі експерименту за деякої різниці в групуванні показників за факторами.

Таблиця 1

Показники якості рухового регулювання в студенток контрольної та експериментальної груп на початку й наприкінці досліджень

Група	Показник	Початок досліджень		Кінець досліджень		% змін	Вірогідність розходжень	
		X	$\pm m$	X	$\pm m$		t	P
Контрольна група	Ходьба по прямій лінії, см	25,9	1,00	22,8	0,80	12,5	2,46	< 0,02
	ПВ 10 см, мм	8,5	0,20	8,0	0,20	7,4	2,04	< 0,05
	Стрибки через скакалку, к-сть·10 с	24,3	0,55	26,1	0,63	7,1	2,07	> 0,05
	Збої у стрибках через скакалку, к-сть·10 с	0,6	0,15	0,1	0,07	81,0	3,03	< 0,01
	Човниковий біг, с	11,2	0,07	10,9	0,11	2,6	2,34	< 0,02
	КПЧБ, с	5,0	0,07	5,1	0,12	3,3	1,20	> 0,05
	Проба «Фламінго», к-сть	5,9	0,10	5,7	0,10	3,6	2,12	< 0,05
	Кидки в ціль, бали	1,9	0,20	2,5	0,20	29,6	2,44	< 0,01
	РВК, к-сть·10 с	5,7	0,10	5,9	0,10	3,6	2,12	< 0,05

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Закінчення табл. 1

Група	Показник	Початок досліджень		Кінець досліджень		% змін	Вірогідність розходжень	
		X	$\pm m$	X	$\pm m$		t	P
Експериментальна група	Ходьба по прямій лінії, см	26,0	0,90	20,1	0,70	22,5	5,17	< 0,001
	ПВ 10 см, мм	9,0	0,20	6,2	0,22	44,8	9,25	< 0,001
	Стрибки через скакалку, к-сть·10 с	24,4	0,42	26,7	0,35	9,2	4,09	< 0,001
	Збої в стрбках через скакалку, к-сть·10 с	0,3	0,10	0,1	0,04	72,2	2,17	< 0,05
	Човниковий біг, с	10,9	0,09	10,5	0,09	– 3,1	2,68	< 0,01
	КПЧБ, с	4,8	0,12	5,2	0,09	8,4	2,73	< 0,01
	Проба «Фламінго», к-сть	6,0	0,60	5,2	0,60	13,4	0,98	> 0,05
	Кидки в ціль, бали	1,8	0,20	3,2	0,20	70,6	4,25	< 0,001
	РВК, к-сть 10 с	5,8	0,10	6,3	0,10	9,1	3,38	< 0,001

Примітка. ПВ 10 см – помилка при відтворенні лінії 10 см; ЧБ – човниковий біг; КПЧБ – координаційна перебудова в човниковому бігу; РВК – рухи верхньою кінцівкою на швидкість.

Таблиця 2

Регресійні моделі взаємозв'язків окремих показників структури фізичного розвитку й фізичної підготовленості в студенток ЕГ

Залежні показники	Рівняння регресії	Коефіцієнт детермінації R
Човниковий біг, с	$(2,905 + 0,833\text{КПЧБ} + 0,78\text{БЗ6м} - 0,005\text{СДМ}) \pm 0,2$	$0,914 < 0,01$
Стрибки через скакалку, раз.	$(24,7 + 0,146\text{ОГК} + 0,07\text{МТ} - 0,23\text{ДТ}) \pm 0,2$	$0,503 < 0,01$
	$(24,42 + 2,13\text{КПЧБ} - 0,64\text{Б100м}) \pm 3,3$	$0,172 < 0,05$
Стрибок у довжину з місця, см	$(270,5 + 0,21\text{ТВЗР} - 3,48\text{Б100м} - 9,25\text{БЗ6м}) \pm 10,9$	$0,647 < 0,01$
	$(307,0 - 6,96\text{Б100м}) \pm 12,1$	$0,536 < 0,01$
Біг 100 м, с	$(0,64 + 3,46\text{БЗ6м}) \pm 1,3$	$0,503 < 0,01$
Окружність талії, см	$(94,9 + 0,197\text{ДН} - 14,26\text{ІК}) \pm 1,4$	$0,956 < 0,01$
Біг 2 000 м, хв	$(11,35 - 0,22\text{БЗ6м}) \pm 0,2$	$0,153 < 0,02$

Примітка. СДМ – стрибок у довжину з місця, см; ЧБ – човниковий біг, с; БЗ6м – результат у бігу на 36 м, с; МТ – маса тіла, кг; ДТ – довжина тіла, см; Б100м – результат у бігу на 100 м, с; ОТ – окружність талії, см; ДН – довжина ніг, см; ІК – індекс Кетле; Б2000м – результат у бігу на 2 000 м, с.

Мала змінність більшості взаємозв'язків соматометричних і функціональних показників студенток КГ і ЕГ у процесі експерименту свідчить про стабільність структури їхнього фізичного розвитку й фізичної підготовленості, незважаючи на статистично достовірний приріст середньогрупових показників і низку залежностей між провідними характеристиками рухових можливостей (у тому числі координаційних), що

посилилися до кінця експерименту в студенток ЕГ (табл. 2). Наведені рівняння відбивають взаємозв'язки найбільш інформативних характеристик структури фізичної підготовленості студенток ЕГ у педагогічному експерименті не тільки з позицій рівня розвитку окремих рухових якостей і координаційних здібностей, але й їхніх співвідношень, взаємозв'язків, механізмів, що визначають прояв рухової функції.

Таблиця 3

Регресійні моделі взаємозв'язків окремих показників функціональної підготовленості й координації рухів у студенток ЕГ наприкінці експерименту

Залежні показники	Рівняння регресії	Коефіцієнт кореляції R
Човниковий біг, с	$8,845 + 0,025\text{ЧСС}$	$0,598 < 0,001$
К-сть порушень рівноваги в пробі «Фламінго»	$0,59\text{ЧД} - 3,39$	$0,461 < 0,009$
Координаційні перебудови верхньою кінцівкою, к-сть $\cdot 10^{-1}$	$7,983 - 0,027\text{ЧСС}$ $5,04 + 0,026\text{ПрГ}$	$0,442 < 0,01$ $0,498 < 0,0001$
Кидки по нерухомій цілі, бали	$8,25 - 0,036\text{ЧСС}$	$-0,485 < 0,0007$
Кидки по рухомій цілі, бали	$9,17 - 0,071\text{ЧСС}$	$-0,654 < 0,0001$
Час координаційної перебудови в ЧБ	$1,277 + 0,021\text{ЧССн}$	$0,592 < 0,01$
Точність відтворення руху (10 см) із ЗК	$10,02 - 0,206\text{VвЧССЗ'2р}$	$-0,535 < 0,0002$
Кидки по нерухомій цілі, бали	$(0,11\text{VO}_2\text{max/MT} - 0,033\text{ЧССЗ'в})$	$0,856 < 0,0001$

Примітка. ЧСС – частота серцевих скорочень, $\text{уд} \cdot \text{хв}^{-1}$; ЧД – частота дихання, $\text{дих} \cdot \text{хв}^{-1}$; ПрГ – проба Генче, с; ЧССн – частота серцевих скорочень у тесті PWC_{170} (друге навантаження), $\text{уд} \cdot \text{хв}^{-1}$; VвЧССЗ'2р – швидкість відновлення ЧСС протягом 3 хв у тесті PWC_{170} (друге навантаження), $\text{уд} \cdot \text{хв}^{-1}$; $\text{VO}_2\text{max/MT}$ – максимальне споживання кисню на 1 кг маси тіла, мл; ЧССЗ'в – відновлення ЧСС протягом 3 хв у тесті PWC_{170} , $\text{уд} \cdot \text{хв}^{-1}$; ЗК – помилка при відтворенні лінії 10 см із зоровою корекцією (ЗК), см; ЧБ – човниковий біг, с

Вивчення впливу експериментальної програми на керування рухами різної координаційної й рівневої структури показало, що якщо до експерименту координаційні здібності студенток ЕГ і КГ не розрізнялися, то після нього виявилася перевага студенток ЕГ, найбільше під час виконання ритмічних рухів верхньою кінцівкою на швидкість і точність, у стрибках через скакалку, у координаційній перебудові ходьби по прямій лінії на точність до заданого орієнтира, при відтворенні 10-сантиметрової лінії, у кидках по цілі, у човниковому бігу.

Поліпшення рухової координації в разі часткової депривації зорової й слухової інформації, в умовах вестибулярних подразнень, під час виконання рухів по пам'яті, вправ на швидкість і точність свідчить про вдосконалення координаційних здібностей студенток ЕГ, підвищення можливостей і надійності функціонування системи керування рухами, удосконалення компенсаторних механізмів, що забезпечують виконання рухів із заданими параметрами при дії збиваючих факторів. Підвищення ефективності компенсаторних реакцій в ЕГ відбиває зростання можливостей системи керування просторовими точнісними рухами.

Отримані в ході експерименту результати

свідчать про більш ефективний вплив експериментальної програми на якість керування рухами різної координаційної структури в студенток ЕГ порівняно із загальноприйнятою програмою у КГ. Підвищення точності балістичних рухів у студенток ЕГ наприкінці експерименту відбиває поліпшення їхньої просторової координації, більш якісне екстраполяційне мислення порівняно зі студентами КГ. Більші позитивні зрушення спостерігалися в ЕГ в рухах вищих рівнів регулювання – C і D (за М. О. Бернштейном) [1], у вправах нижчих рівнів регулювання (A і B) вони менш істотні, але більш стабільні, надійні та програмні.

У процесі експерименту в студенток ЕГ виявляється певний паралелізм між зрушеннями низки показників функціонального стану й координації рухів (табл. 3): а) зі зменшенням ЧСС у стані спокою до кінця експерименту поліпшуються результати в координаційних тестах – у човниковому бігу (ЧБ) ($r = 0,598$, $P < 0,001$), у координаційних перебудовах верхньою кінцівкою ($r = 0,442$, $P < 0,01$), під час виконання кидків на точність по нерухомій ($r = -0,485$, $P < 0,01$) і рухомій ($r = -0,540$, $P < 0,0001$) цілях; б) підвищення тривалості затримки дихання в пробі Генче супроводжується підви-

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

щенням кількості координаційних перебудов верхньою кінцівкою ($r = 0,498$, $P < 0,0001$); в) зниження ЧСС у реакції на фізичне навантаження в тесті PWC_{170} супроводжується зменшенням часу координаційних перебудов у ЧБ і навпаки ($r = 0,592$, $P < 0,01$); г) підвищення швидкості відновлення ЧСС у тесті PWC_{170} супроводжується зменшенням помилок при репродукції локальних точнісних рухів кистю ($r = -0,535$, $P < 0,0002$); д) з підвищенням до кінця експерименту (модель множинної регресії – табл. 3), VO_{2max} на 1 кг маси тіла й величини зменшення ЧСС до 3-ї хв відновного періоду після навантаження підвищується точність рухів при кидках по нерухомій цілі ($r = 0,856$, $P < 0,0001$).

Тобто з поліпшенням функціонального стану, підвищенням загальної фізичної працездатності покращується якість керування точнісними рухами, підвищуються резервні можливості системи керування рухами різної координаційної структури, надійність збереження основних параметрів руху при дії збиваючих факторів і перешкод.

Наукова новизна та практична значимість

У цілому дослідження показало, що скорегований нами процес фізичного виховання у вищій школі, спрямований на розвиток координаційних здібностей студенток, істотно збільшує прояв моторної функції, підвищує її резервні можливості.

Найбільший приріст під впливом розробленої експериментальної методики відбувається в показниках, що характеризують рівень розвитку координаційних здібностей, рухові якості, функціональний стан і фізичну працездатність студенток ЕГ: у локомоції за заданою траєкторією на точність (22,0 %, $P < 0,001$); у репродукції локальних рухів кисті на точність (44,8 %, $P < 0,001$); у кидках по цілі (70,6 %, $P < 0,001$); у ритмічних рухах верхньою кінцівкою на швидкість (9,1 %, $P < 0,001$ %); у кистьовій динамометрії (на 21,8 %, $P < 0,01$); у стрибку в довжину з місця (4,7 %, $P < 0,01$); у висі на зігнутих руках (30,0 %, $P < 0,01$); при підніманні тулуба (20,2 %, $P < 0,01$); бігу на 36 м (12,0 %, $P < 0,01$), 100 м (4,5 %, $P < 0,01$) і 2 000 м (12,0 %, $P < 0,01$). В ЕГ підвищилася працездатність у тесті PWC_{170} , стала менш вираженою

реакція на фізичне навантаження, прискорився процес відновлення ЧСС після тестування порівняно із КГ і з даними до педагогічного експерименту. В ЕГ показники координаційних здібностей покращилися в середньому на $21,1 \pm 5,4$ %, у КГ – $7,8 \pm 2,1$ %. Це в цілому характеризує збільшення резервних можливостей рухової системи студенток ЕГ й відбиває ефективність запропонованої методики й організаційних підходів у забезпеченні їх фізичного виховання. На основі розроблених показників можна враховувати функціональну та фізичну підготовленість студентів і формувати оптимальні режими рухової активності для кожної нозологічної групи, що особливо актуально для організації навчального процесу з фізичного виховання у вищій школі.

Висновки

Результати досліджень показали, що скорегований процес фізичного виховання у ВНЗ, не викликаючи істотних морфологічних змін, при певній його організації, методичних підходах і урахуванні специфіки відхилень у стані здоров'я дозволяє істотно збільшувати прояви моторної функції, резервні можливості рухової системи, зміцнювати фізичне здоров'я студенток спеціальної медичної групи за допомогою великої кількості вправ локального й регіонального характеру, рухових переключень, високої моторної щільності занять, відповідної мотивації, музичного супроводу й інших факторів, що свідчить про якісні перебудови у їх руховій системі.

Підвищення до кінця експерименту якості керування рухами різної координаційної структури, надійності їхньої реалізації в групах з різними відхиленнями в стані здоров'я, збільшення кількості студенток (з 3 до 8 % порівняно з іншими роками), переведених в основну групу, свідчить про адекватність і ефективність використаної методики. Виявлений різний характер реагування на навантаження, неоднаковий приріст низки показників координаційних здібностей, фізичного стану в різних нозологічних групах підтверджують необхідність диференційованого підходу під час побудови програм з фізичного виховання для осіб, які віднесені до спеціальної медичної групи.

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бернштейн, Н. А. О построении движений / Н. А. Бернштейн. – М. : Медгиз, 1947. – 255 с.
- Голубев, В. Н. Проблема восстановления функциональных резервов в процессе адаптации / В. Н. Голубев // Всесоюз. науч. конф. «Функциональные резервы и адаптация». – К., 1990. – С. 148–151.
- Грибан, Г. Аналіз стану здоров'я студентів вищих навчальних закладів / Г. Грибан, Т. Кутек // Спорт. вісн. Придніпров'я. – 2004. – № 7. – С. 130–132.
- Григорьева, В. Н. Состояние здоровья студентов как социальная проблема / В. Н. Григорьева // На пути к гражданскому обществу: проблемы молодежи XXI века : материалы междунар. науч. конф. – СПб. : Изд-во СПбГУЭФ, 2003. – С. 213–214.
- Дрозд, О. В. Фізичний стан студентської молоді західного регіону України та його корекція засобами фізичного виховання : автореф. дис. ... канд. наук з фіз. виховання : 24.00.02 / О. В. Дрозд ; Луцкий нац. техн. ун-т. – Луцк, 1998. – 17 с.
- Дубогай, О. Д. Методика фізичного виховання студентів, віднесених за станом здоров'я до спеціальної медичної групи : навч. посіб. / О. Д. Дубогай, В. Й. Завацький, Ю. О. Короп. – Луцк : Надтир'я, 1995. – 220 с.
- Круцевич, Т. Ставлення студенток до предмета «Фізичне виховання» у вищих навчальних закладах / Т. Круцевич, О. Нестеренко // Спорт. вісн. Придніпров'я. – 2004. – № 7. – С. 57–59.
- Оценка функциональных резервов в системе управления движением / В. Н. Голубев, Д. Н. Давиденко, А. С. Мозжухин и др. // Системные механизмы адаптации и мобилизации функциональных резервов организма в процессе достижения высшего спортивного мастерства : сб. науч. тр. – Л., 1987. – С. 12–18.
- Присяжнюк, С. І. Біологічний вік та здоров'я студентської молоді : навч. посіб. / С. І. Присяжнюк. – К. : Центр навч. літ-ри, 2010. – 294 с.
- Тимошенко, О. В. Оптимізація професійної підготовки майбутніх вчителів фізичної культури : монографія / О. В. Тимошенко. – К. : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2008. – 421 с.
- Філіппов, М. М. Вплив навантажень оздоровчого характеру на організм студенток ВНЗ / М. М. Філіппов, Л. І. Юмашева // Теоретико-метод. основи орг. фіз. виховання молоді. – Л. : Видав. центр Львів нац. ун-ту ім. І. Франка, 2008. – 200 с.
- Punkcja sprawności fizycznej młodzieży w Polsce / S. Pilicz, R. Przewęda, J. Dobosz et al. – Warszawa, 2005. – 137 p.
- Starosta, W. Koncepcja rozwijania zdolności motorycznych i nauczania techniki w treningu sportowym dzieci i młodzieży / W. Starosta // Kierunki doskonalenia treningu i walki sportowej – diagnostyka. – A WF w Warszawie. – 2004. – № 7. – P. 43–48.

Е. Н. ДОЦЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Физическое воспитание», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 16 54, эл. почта dociya22@rambler.ru

РАЗВИТИЕ КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ СТУДЕНТОК СПЕЦИАЛЬНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ГРУППЫ В ПРОЦЕССЕ ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ

Цель. Проанализировать проблемы развития двигательных возможностей и укрепления здоровья студенток специальной медицинской группы в процессе физического воспитания в техническом вузе. Определить ведущие факторы, показатели и взаимосвязи физического развития, физической подготовленности и координационные способности студенток специальной медицинской группы. Установить закономерности овладения точными движениями различной координационной структуры и разработать модельные характеристики взаимосвязей координационных способностей и двигательных качеств студенток специальной медицинской группы. Обосновать и проверить эффективность методики развития координационных способностей студенток с учетом их функционального состояния в процессе физического воспитания в вузе. **Методика.** Показано теоретико-методическое обоснование и характеристику экспериментальной программы по физическому воспитанию для студенток специальной медицинской группы. **Результаты.** Исследование заключается в разработке содержания занятий в специальных медицинских

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

группах с использованием координационных элементов и упражнений для повышения двигательных возможностей студенток. Изучено их влияние на уровень физического развития, функциональной подготовленности студенток специальной медицинской группы, а также закономерности овладения и управления движениями различной координационной структуры. Приведена сравнительная характеристика двигательных возможностей студенток, дифференцированных на группы по нозологиям, в динамике педагогического процесса, определены критерии повышения резервных возможностей моторной системы при управлении движениями различной координационной структуры. **Научная новизна.** Впервые была внедрена методика развития координационных способностей студенток специальной медицинской группы, которая направлена на формирование и коррекцию системы управления движениями различной координационной структуры, ощущение положения тела и отдельных его частей в пространстве, улучшение мышечно-суставной чувствительности; определено влияние экспериментальной программы на уровень развития и взаимосвязи координационных способностей, определены критерии резервных возможностей системы управления точными движениями. **Практическая значимость.** Заключается в разработке содержания занятий в специальных медицинских группах с использованием координационных упражнений и элементов для повышения двигательных возможностей студенток. Усовершенствованы организационные и методические аспекты проведения занятий в специальных медицинских группах с определением нагрузки для студенток, имеющих различные отклонения в состоянии здоровья. Разработаны математические модели, характеризующие движения, в частности координационные, возможности студенток специальной медицинской группы. На основе разработанных показателей можно учитывать функциональную и физическую подготовленность студентов и формировать оптимальные режимы двигательной активности для каждой нозологической группы, что особенно актуально для организации учебного процесса по физическому воспитанию в высшей школе.

Ключевые слова: координационные способности; студентки; специальная медицинская группа; двигательные качества; взаимосвязи; модели

О. М. DOTSENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Physical Education», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 16 54, e-mail dociya22@rambler.ru

DEVELOPMENT OF COORDINATION ABILITIES OF SPECIAL MEDICAL GROUPS STUDENTS IN PHYSICAL EDUCATION PROCESS

Purpose. To analyze the problem of motor abilities development and health of students of special medical group in the process of physical education in technical universities. Determine the major factors, characteristics, and the relationship of physical development, physical fitness and coordination abilities of female students in special medical group. Establish regularities in precise movements mastering of different coordination structure and develop model characteristics of the relationship of coordination abilities and motor characteristics of students in special medical group. To substantiate and verify efficiency of coordination abilities development method of female students with regard to their functional status in the course of physical education in higher school. **Methodology.** Theoretical and methodological argument, characteristic of the experimental program in physical education teaching process of students in special medical group was shown. **Findings.** Research is to develop the training content in special medical groups with the use of coordinating elements and exercises to enhance the motor abilities of female students. Their influence on the level of physical development, functional training, as well as regularities in mastering and movement control of different coordinating structure at the female students of special medical group was studied. The comparative characteristic of female students athletic ability in the dynamics of the educational process, differentiated into groups according to nosology was presented. The criterion of spare capacities upgrade of the motor system in controlling the movements of different coordination structure was determined. **Originality.** The method of coordination abilities development of female students in special medical group, that aims on the formation and correction of motor control system of different coordination structure, a sense of body position and its individual parts in space, improving kinesthesia was introduced for the first time. The effect of the experimental program to the level of development and the relationship of coordination abilities and criteria of spare capacities in exact motions system control were determined. **Practical value.** To develop the content of training in special medical groups using the coordination exercises and elements to enhance the motor abilities of female students. Organizational and methodological aspects of holding trainings in special medical group with a load for students with different variations in health status were improved. The mathematical model describing the movements, including coordi-

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

nating students abilities in special medical group was developed. On the basis of developed indicators one can take into account the functional and physical fitness of students and form optimal regimes of motor activity for each nosologic group. It is especially important for the organization of educational process in universities physical education.

Keywords: coordination abilities; female students; special medical group; movement qualities; relationships; models

REFERENCES

1. Bernshteyn N.A. *O postroyenii dvizheniy* [About movements building]. Moscow, Medgiz Publ., 1947. 255 p.
2. Golubev V.N. Problema vosstanovleniya funktsionalnykh rezervov v protsesse adaptatsii [Problem of functional reserves restoration in the adaptation process]. *Vsesoyuznaya nauchnaya konferentsiya «Funktsionalnyye rezervy i adaptatsiya»* [Proc. of All-Union Sci. Conf. «Functional reserves and adaptation»]. Kyiv, 1990, pp. 148-151.
3. Hryban H., Kutek T. Analiz stanu zdorovia studentiv vyshchych navchalnykh zakladiv [Analysis of the university students' health level]. *Sportyvnyi visnyk Prydniprov'ia – Sports Bulletin of Prydniprov'ie*, 2004, no. 7, pp. 130-132.
4. Grigoryeva V.N. Sostoyaniye zdorov'ya studentok kak sotsialnaya problema [Female students health level as a social problem]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Na puti k grazhdanskomu obshchestvu: problemy molodezhi XXI veka»* [Proc. of Int. Sci. Conf. «On the way to civil society: problems of youth in XXI century»]. Saint Petersburg, SPbGUEF Publ., 2003, pp. 213-214.
5. Drozd O.V. *Fizychnyi stan studentskoi molodi zakhidnoho rehionu Ukrainy ta yoho korektsiia zasobamy fizychnoho vykhovannia*. Avtoreferat Diss. [Physical state of students in Western Ukraine and its correction by means of physical education. Author's abstract]. Lutsk, 1998. 17 p.
6. Dubohai O.D., Zavatskyi V.Y., Korop Yu.O. *Metodyka fizychnoho vykhovannia studentiv, vidnesenykh za stanom zdorovia do spetsialnoi medychnoi hrupy* [Methodology of students physical education classified on health reasons to a special medical group]. Lutsk, Nadstoria Publ., 1995. 220 p.
7. Krutsevych T., Nesterenko O. Stavleniia studentok do predmeta «Fizychnye vykhovannia» u vyshchych navchalnykh zakladakh [Female students attitude to the "Physical Education" subject in higher education]. *Sportyvnyi visnyk Prydniprov'ia – Sports Bulletin of Prydniprov'ie*, 2004, no. 7. pp. 57-59.
8. Golubev V.N., Davidenko D.N., Mozhukhin A.S., Shabanov A.I. Otsenka funktsionalnykh rezervov v sisteme upravleniya dvizheniyem [Evaluation of functional reserves in motion control]. *Sistemnyye mekhanizmy adaptatsii i mobilizatsii funktsionalnykh rezervov organizma v protsesse dostizheniya vysshego sportivnogo masterstva* [System mechanisms of adaptation and mobilization of functional reserves in achieving high sportsmanship]. Leningrad, 1987, pp. 12-18.
9. Prsyazhniuk S.I. *Biologichnyi vik ta zdorovia studentskoi molodi* [Biological age and students health]. Kyiv, Tsentr navch. lit-ry Publ., 2010. 294 p.
10. Tymoshenko O.V. *Optimizatsiia profesiinoi pidhotovky maibutnikh vchyteliv fizychnoi kultury* [Optimization of future teachers training of physical education]. Kyiv, NPU im. M.P. Drahomanova Publ., 2008. 421 p.
11. Filippov M.M., Yumasheva L.I. *Vplyv navantazhen ozdorovchoho kharakteru na orhanizm studentok VNZ. Teoretyko-metodychni osnovy orhanizatsii fizychnoho vykhovannia molodi* [Effect of physical activity on university female students. Theoretical and methodic foundations of organization of physical education for youth]. Lviv, Vyd-vo tsentr Lviv nats. un-tu im. I. Franka Publ., 2008. 200 p.
12. Starosta W. Koncepcja rozwijania zdolności motorycznych i nauczania techniki w treningu sportowym dzieci i młodzieży. *Kierunki doskonalenia treningu i walki sportowej – diagnostyka*, 2004, no. 7. pp. 43-48.
13. Pilicz S., Przewęda R., Dobosz J., Nowacka-Dobosz S. Punktacja sprawności fizycznej młodzieży w Polsce. Warszawa, 2005. 137 p.

Стаття рекомендована до публікації к.психол.н., доц. В. В. Пічуріним (Україна); д.м.н., проф. В. В. Абрамовим (Україна)

Надійшла до редколегії 07.08.2013

Прийнята до друку 28.08.2013

ЗМІСТ

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

А. М. БЕЗНАРИТНИЙ, В. І. ГАВРИЛЮК

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТА ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ СИСТЕМ
ЧИСЛОВОГО КОДОВОГО АВТОБЛОКУВАННЯ.....7

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Ю. В. ГУСАК

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ОРГАНІЗАЦІЙНО-РЕСУРСНЕ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ16

Л. В. МАРЦЕНЮК

ОСНОВНІ ЗАСАДИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОГО ТУРИЗМУ В УКРАЇНІ24

Г. Я. МОЗОЛЕВИЧ

ОПЕРАТИВНИЙ РОЗПОДІЛ ПОЇЗДОПОТОКІВ ПО ЛАНКАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ПОЛІГОНУ33

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

В. Ф. ІВІН, Б. Є. БОДНАР

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІДКРИТИХ ПЛАВАЛЬНИХ БАСЕЙНІВ40

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Г. К. ГЕТЬМАН, В. Є. ВАСИЛЬЄВ

ЩЕ РАЗ ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ТЯГУ ЗА РАХУНОК
ЧАСТКОВОГО ВІДКЛЮЧЕННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ47

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Н. В. ХАЛПОВА

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ ТА РУХОМОГО СКЛАДУ58

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

В. О. ЗАБЛУДОВСЬКИЙ, В. В. ДУДКІНА, Е. П. ШТАПЕНКО

ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА СТРУКТУРУ Й МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ НІКЕЛЕВИХ ПОКРИТТІВ70

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ

Б. М. ТОВТ

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЙ РУХОМОГО СКЛАДУ
ТА СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ЗАЛІЗНИЦЬ З УРАХУВАННЯМ КОМПЛЕКСНИХ ОБМЕЖЕНЬ НА МІЦНІСТЬ79

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

О. М. БОНДАРЄВ, Є. М. ДЗІЧКОВСЬКИЙ, О. Є. КРИВЧИКОВ, В. М. СКОБЛЕНКО

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ МОТОРНИХ
ВІЗКІВ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ СЕРІЇ ЕД9М89

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

В. С. КОССОВ, А. Л. БІДУЛЯ, О. Г. КРАСНОВ, М. Г. АКАШЕВ

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ ГЕОМЕТРИЧНО-СИЛОВОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ
СТАНУ КОЛІЇ97

А. ЛАШЕР, М. УМАНОВ, Є. ФРІШМАН, Е. ПРИШЕДЬКО

МЕТОДИ КОМПЛЕКСНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ МАГНІТОЛЕВІТУЮЧИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ105

С. В. МЯМЛІН, Л. О. НЕДУЖА

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ХОДОВИХ ЧАСТИН ЛОКОМОТИВІВ124

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

М. І. НЕТЕСА, Д. В. ПАЛАНЧУК, А. М. НЕТЕСА

ЛЕГКІ БЕТОНИ ІЗ ЗОЛОЮ ВИНЕСЕННЯ ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ТЕС 137

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

О. М. ДОЦЕНКО

РОЗВИТОК КООРДИНАЦІЙНИХ ЗДІБНОСТЕЙ СТУДЕНТОК СПЕЦІАЛЬНОЇ МЕДИЧНОЇ ГРУПИ

В ПРОЦЕСІ ФІЗИЧНОГО ВИХОВАННЯ 146

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

А. М. БЕЗНАРЫТНЫЙ, В. И. ГАВРИЛЮК

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
СИСТЕМЫ ЧИСЛОВОЙ КОДОВОЙ АВТОБЛОКИРОВКИ7

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Ю. В. ГУСАК

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ОРГАНИЗАЦИОННО-РЕСУРСНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОБЛАСТИ16

Л. В. МАРЦЕНЮК

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО ТУРИЗМА В УКРАИНЕ24

Г. Я. МОЗОЛЕВИЧ

ОПЕРАТИВНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЕЗДОПОТОКОВ ПО УЧАСТКАМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ПОЛИГОНА33

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

В. Ф. ИВИН, Б. Е. БОДНАРЬ

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОТКРЫТЫХ ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ40

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

Г. К. ГЕТЬМАН, В. Е. ВАСИЛЬЕВ

ЕЩЕ РАЗ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ЗА СЧЕТ ЧАСТИЧНОГО
ОТКЛЮЧЕНИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА47

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

Н. В. ХАЛИПОВА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА58

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

В. А. ЗАБЛУДОВСКИЙ, В. В. ДУДКИНА, Э. Ф. ШТАПЕНКО

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ70

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВИДЫ ТРАНСПОРТА

Б. М. ТОВТ

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ПОДВИЖНОГО
СОСТАВА И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ КОМПЛЕКСНЫХ
ОГРАНИЧЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ79

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ

А. М. БОНДАРЕВ, Е. М. ДЗИЧКОВСКИЙ, А. Е. КРИВЧИКОВ, В. М. СКОБЛЕНКО

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МОТОРНЫХ
ТЕЛЕЖЕК ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ СЕРИИ ЭД9М89

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

В. С. КОССОВ, А. Л. БИДУЛЯ, О. Г. КРАСНОВ, М. Г. АКАШЕВ

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ-СИЛОВОГО МЕТОДА
ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПУТИ97

А. ЛАШЕР, М. УМАНОВ, Е. ФРИШМАН, Е. ПРИШЕДЬКО

МЕТОДЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ105

С. В. МЯМЛИН, Л. А. НЕДУЖАЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ ЛОКОМОТИВОВ	124
--	-----

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Н. И. НЕТЕСА, Д. В. ПАЛАНЧУК, А. Н. НЕТЕСА ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ С ЗОЛОЙ УНОСА ПРИДНЕПРОВСКОЙ ТЭС	137
---	-----

РАЗВИТИЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Е. Н. ДОЦЕНКО РАЗВИТИЕ КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ СТУДЕНТОК СПЕЦИАЛЬНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ГРУППЫ В ПРОЦЕССЕ ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ	146
---	-----

CONTENTS

TRANSPORT AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

A. M. BEZNARYTNYI, V. I. GAVRILYUK

ANALYSIS OF EXISTING AND PROSPECTIVE TECHNICAL CONTROL SYSTEMS OF NUMERIC CODES AUTOMATIC BLOCKING.....	7
--	---

ECONOMICS AND MANAGEMENT

YU. V. GUSAK

ESTIMATION OF EXTERNAL FACTORS INFLUENCE ON THE ORGANIZATIONAL AND RESOURCE SUPPORT OF ENGINEERING	16
---	----

L. V. MARTSENYUK

BASIC PRINCIPLES OF TRANSPORT TOURISM DEVELOPMENT IN UKRAINE	24
--	----

G. YA. MOZOLEVICH

OPERATIONAL DISTRIBUTION OF THE TRAIN TRAFFIC VOLUME ON THE SECTIONS OF RAILWAY OPERATING DOMAIN	33
---	----

OPERATION AND REPAIR OF THE TRANSPORT MEANS

V. F. IVIN, B. YE. BODNAR

ENERGY SAVING AT OPERATION OF OUTDOOR SWIMMING POOLS	40
--	----

ELECTRIC TRANSPORT

G. K. GETMAN, V. YE. VASILIEV

ONCE AGAIN ABOUT DETERMINATION OF SAVING OF ENERGY FOR TRACTION DUE TO PARTIAL CUT-OFF OF TRACTION ENGINES OF ELECTRIC ROLLING STOCK	47
---	----

RAILWAY TRACK

N. V. KHALIPOVA

MODELING OF THE TRACK AND ROLLING STOCK INTERACTION	58
---	----

MATERIAL SCIENCE

V. A. ZABLUDOVSKIY, V. V. DUDKINA, E. PH. SHTAPENKO

THE INVESTIGATION OF INFLUENCE OF LASER RADIATION ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE ELECTROLYTIC NICKEL COATING	70
--	----

NON-TRADITIONAL TRANSPORT MODES

B. M. TOVT

COMPLEX STRENGTH-CONSTRAINED TOPOLOGY STRUCTURAL OPTIMIZATION PROBLEM STATEMENT FOR ROLLING STOCK AND SPECIAL EQUIPMENT OF RAILWAY	79
---	----

INDUSTRIAL TRANSPORT

O. M. BONDAREV, E. M. DZICHKOVSKIY, O. E. KRYVCHYKOV, V. M. SKOBLENKO

HARDNESS INDICES ESTIMATION OF SUPPORTING STRUCTURE ELEMENTS OF MOTOR BOGIES OF THE ELECTRIC TRAIN ED9M	89
--	----

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

V. S. KOSSOV, A. L. BIDULYA, O. G. KRASNOV, M. G. AKASHEV

THE FIELD TEST RESULTS OF GEOMETRIC-FORCE METHOD FOR TRACK STATE ESTIMATION	97
---	----

A. LASHER, M. UMANOV, YE. FRISHMAN, YE. PRISHEDKO

METHODS OF INTEGRATED OPTIMIZATION MAGLEV TRANSPORT SYSTEMS	105
---	-----

S. MYAMLIN, L. NEDUZHA

DESIGN IMPROVEMENT OF THE LOCOMOTIVE RUNNING GEARS	124
--	-----

TRANSPORT CONSTRUCTION

M. I. NETESA, D. V. PALANCHUK, A. M. NETESA

LIGHTWEIGHT CONCRETES WITH FLY-ASH OF PRYDNIPROVSK THERMAL POWER STATION137

HIGH SCHOOL DEVELOPMENT

O. M. DOTSENKO

DEVELOPMENT OF COORDINATION ABILITIES OF SPECIAL MEDICAL GROUPS STUDENTS
IN PHYSICAL EDUCATION PROCESS146

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

До публікації в журналі приймаються статті українською, російською або англійською мовами проблемного, узагальнюючого, методичного характеру, оригінальні наукові, практичні дослідження, які раніше ніде не видавалися.

Матеріали необхідно надавати в друкованому та електронному вигляді у програмі Microsoft Word 2003 або більш ранній версії – файли *.doc (файли *.docx, *.docm не приймаються).

Наукова стаття повинна відповідати вимогам п. 3 Постанови ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003 року.

Матеріали рецензуються членами редакційної колегії збірника та сторонніми незалежними експертами, виходячи з принципу об'єктивності та з позицій вищих міжнародних академічних стандартів якості, та редагуються. Редакція залишає за собою право на стилістичну правку рукопису.

Вимоги щодо обсягу наукових статей, повідомлень, відгуків та рецензій:

- оглядові та проблемні статті – до 45 000 знаків з пробілами (7–10 с.);
- загальні статті за рубриками видання – до 30 000 знаків з пробілами (5–7 с.);
- наукове повідомлення – до 8 000 знаків з пробілами (до 2,5 с.);
- відгук або рецензія – до 6 000 знаків з пробілами (до 2 с.).

Матеріал надається у форматі А4, враховуючи таблиці, ілюстрації, список використаних джерел. Статті, більші за обсягом, можуть бути прийняті до розгляду на підставі рішення редколегії.

Увага! Журнал готується до експертизи в наукометричній базі даних SciVerse Scopus. Із цим фактом пов'язаний ряд необхідних вимог, а саме: наявність авторських розширених і структурованих резюме (рефератів – abstracts), у т.ч. англійською мовою, рецензій, пристатейних списків літератури в романському алфавіті тощо.

Рекомендуємо скористатися правилами до оформлення статей журналу:
<http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/Vumogu.pdf>.

Для здачі статті до друку автору/авторам необхідно:

1. Для електронної інформації сформувати всі матеріали в п'яти файлах:

- **Перший** – із текстом статті та анотацій з ключовими словами. Назва файлу – прізвище та ініціали автора (першого співавтора) латинськими літерами, наприклад: Ivanov_I_stattia.doc.
- **Другий** – з розширеними відомостями про автора/авторів (прізвище, ім'я, по батькові; посада; науковий ступінь; учене звання; місце роботи або навчання; адреса електронної пошти; номери контактних телефонів). Назва файлу – Ivanov_I_vidomosti.doc.
- **Третій** – рецензія (відсканована). Назва файлу – Ivanov_I_recenziia.jpg.
- **Четвертий** – Експертний висновок (відсканований, складається у вільній формі). Назва файлу – Ivanov_I_vysnovok.jpg.
- **П'ятий** – Ліцензійний договір (відсканований). Назва файлу – Ivanov_I_dogovir.jpg. Текст договору: <http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/license.doc>.

2. Для друкованої інформації. До редакції надаються особисто або надсилаються поштою такі матеріали: 1) два друкованих примірники рукопису з підписами всіх співавторів на останньому аркуші роботи; 2) оригінал Ліцензійного договору з підписами всіх співавторів; 3) оригінал експертного висновку; 4) рекомендація до друку за підписом відповідального редактора розділу (для співробітників ДНУЗТ).

Відповідальність за зміст статті, правильність, точність і коректність цитування, посилань та перекладу покладається на авторів.

Остаточне рішення щодо публікації ухвалює редакційна колегія журналу.

Статті, відхилені редакційною колегією, повертаються авторам для доопрацювання.

Шановні автори, запрошуємо до співробітництва!

З питань опублікування звертайтеся до редакції журналу за адресою:

Науково-технічна бібліотека (ауд. 166),

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
 вул. Лазаряна, 2,

м. Дніпропетровськ,

Україна,

49010

e-mail: visnik@diit.edu.ua

Адреса сайту журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>

З питань придбання примірників журналу телефонуйте за номером (056) 776 90 59 Миргородська А. І.



Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна веде підготовку докторантів та аспірантів за рахунок коштів Державного бюджету України – за державним замовленням – за такими спеціальностями:

ДОКТОРАНТУРА

№	Спеціальність	Шифр
1	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
2	Управління проектами і програмами	05.13.22
3	Залізнична колія	05.22.06
4	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
5	Електротранспорт	05.22.09
6	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
7	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
8	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05

На підставі угод, що укладаються з докторантом і керівником вищого навчального закладу, до докторантури приймаються громадяни України, кандидати наук, що мають наукові досягнення в обраній галузі.

Строк навчання 3 роки.

Вступники до докторантури подають:

- заяву на ім'я ректора,
- копію першої сторінки паспорта,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку з бухгалтерії про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу із зазначенням одержаної кваліфікації спеціаліста,
- копію диплома кандидата наук,
- копію атестата доцента, с.н.с. за їх наявності,
- розгорнутий план докторської дисертації,
- список опублікованих наукових праць та винаходів,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3х4.

АСПІРАНТУРА

№	Спеціальність	Шифр
1	Фізика твердого тіла	01.04.07
2	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
3	Математичне моделювання та обчислювальні методи	01.05.02
4	Неорганічна хімія	02.00.01
5	Управління проектами і програмами	05.13.22
6	Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика	05.14.06
7	Залізнична колія	05.22.06
8	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
9	Електротранспорт	05.22.09
10	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
11	Основи і фундаменти	05.23.02
12	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
13	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05
14	Технологія та організація промислового та цивільного будівництва	05.23.08
15	Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)	08.00.04
16	Історія філософії	09.00.05
17	Екологічна безпека	21.06.01

На підставі угод, що укладаються з аспірантом і керівником вищого навчального закладу, до аспірантури приймаються громадяни України, які мають вищу освіту і кваліфікацію спеціаліста.

Строк навчання в аспірантурі з відривом від виробництва – 3 роки, без відриву від виробництва – 4 роки.

Особи, допущені до вступних іспитів у аспірантуру, складають три іспити за програмою вищого навчального закладу:

- спеціальну дисципліну,
- філософію,
- іноземну мову.

За консультаціями звертатися на відповідні кафедри університету.

Особи, що вступають до аспірантури, подають:

- заяву на ім'я ректора,
- письмовий висновок передбачуваного наукового керівника про можливість навчання в аспірантурі,
- рекомендацію вченої ради вищого навчального закладу до вступу в аспірантуру (для випускників поточного року),
- копію першої сторінки паспорта,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу,
- посвідчення про складання кандидатських іспитів (за їх наявності),
- список опублікованих наукових праць та винаходів або реферат з обраної наукової спеціальності з рецензією передбачуваного наукового керівника,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3×4.

Прийом документів до докторантури та аспірантури з 01.09 по 30.09 щорічно.

Вступні іспити до аспірантури з 10.10 по 30.10 щорічно.

Початок занять з 01.12 щорічно.

За інформацією звертатися:

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту,
вул. Лазаряна, 2,
м. Дніпропетровськ,
Україна,
49010.

Тел. : (056) 373-15-44 – ректор, проф. Пшінько Олександр Миколайович, приймальня;
(056) 373-15-29 – проректор з наукової роботи, проф. Мямлін Сергій Віталійович;
(056) 373-15-63 – завідувача аспірантурою та докторантурою Лахнова Ірина Анатоліївна, кімн. 320).

Інформація про спеціалізовані вчені ради університету

В університеті працює три спеціалізовані вчені ради із захисту докторських та кандидатських дисертацій за спеціальностями:

- Д 08.820.01 – залізнична колія (05.22.06) та електротранспорт (05.22.09); 05.22.12 – промисловий транспорт.
- Д08.820.02 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів (05.22.07) і експлуатація та ремонт засобів транспорту (05.22.20); транспортні системи (05.22.01);
- К08.820.03 – економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності).

Наукове видання

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

№ 5 (47) 2013

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – Т. О. Колесникова

Комп'ютерне верстання – Ю. С. Марков

Літературна обробка – О. О. Котова, О. М. Врублевська

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 19,53. Тираж 300 пр. Зам. №_____.

**Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Адреса редакції, видавця:

вул. Лазаряна, 2, кім. 267, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Адреса дільниці оперативної поліграфії:

вул. Лазаряна, 2, кім. 1201, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна

Тел.: +38 (056) 47-19-66, *факс:* +38 (056) 47-19-83



Научное издание

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

**(НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА. ВЕСТНИК ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА)**

№ 5 (47) 2013

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – Т. А. Колесникова

Компьютерная верстка – Ю. С. Марков

Литературная обработка – О. А. Котова, О. М. Врублевская

Формат 60×84¹/₈. Ус. печат. лист. 19,53. Тираж 300 экз. Зам. №_____.

**Издательство Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна**

Адрес редакции, издателя:

ул. Лазаряна, 2, ком. 267, г. Днепропетровск, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Адрес участка оперативной полиграфии:

ул. Лазаряна, 2, ком. 1201, г. Днепропетровск, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 47-19-66, *факс:* +38 (056) 47-19-83



Scientific Edition

**NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU. VİSNIK DNİPROPETROVS'KOGO NACİONAL'NOGO
UNİVERSİTETU ZALİZNIČNOGO TRANSPORTU**

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

No. 5 (47) 2013

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – Т. О. Kolesnikova

Computer makeup – Yu. S. Markov

Redaction – О. О. Kotova, О. М. Vrublevska

Format 60×84¹/₈. Conventional printed sheet 19,53. Circulation 300. Order no. _____.

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

Address of editor and editorial office

Lazaryan St., 2, r. 267, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Address of small offset printing office

Lazaryan St., 2, r. 1201, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Тел.: +38 (056) 47-19-66, *Fax:* +38 (056) 47-19-83



СУЧАСНІ ЗАКЛАДИ ОСВІТИ - 2013

Четверта Міжнародна Виставка

CERTIFICATE

якості наукових публікацій
УДОСТОЄНИЙ

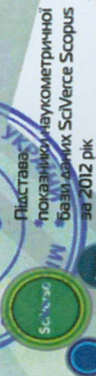
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Міністерство освіти і науки,
молоді та спорту України

Міністр



Д. Табачник



Національна академія
педагогічних наук України

Президент



В. Кремень

Україна, м. Київ

Асоціація користувачів
Української науково-освітньої
телекомунікаційної мережі «Уран»

Голова Ради



Ю. Якименко



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

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2013. 5(47). 1-163