



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



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

№ 4(52)

•• 2014 ••

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Науковий журнал

№ 4 (52) 2014

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

2014

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

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

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

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ (УКРАЇНА):

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., Вакулєнко 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., Горобєць 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., Настєчик М. П., Нетєса 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); Вайчунас Г. (Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса, Литва); 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, DRJI. Друкується за рішенням вченої ради університету від 29.08.2014 р., протокол № 1

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

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

Видання публікується з 1936 р.:

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

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

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

(НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА

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

Научный журнал

№ 4 (52) 2014

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

2014

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., Боднарь 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., Покотилов 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); Вайчунас Г. (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва); 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); Худзикевич 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 постановлениями 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, DRJI.

Печатается по решению ученого совета университета от 29.08.2014 г., протокол № 1

Издатель

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

Адрес
учредителя

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

Издание публикуется с 1936 г.:

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

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

NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU
VÌSNIK DNÌPROPETROVS'KOGO NACIONAL'NOGO UNÌVERSITETU
ZALÌZNIČNOGO TRANSPORTU

(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS
BULLETIN OF DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY OF RAILWAY
TRANSPORT NAMED AFTER ACADEMICIAN V. LAZARYAN)

Scientific journal

No. 4 (52) 2014

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

2014

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

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

EDITORIAL BOARD MEMBERS (UKRAINE):

Afanasov A. M., 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., Gabryniec 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); Vaiciunas G. (Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania); Wasiaik 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, DRJI. Published according to the Academic Council decision of the University from 29.08.2014, Protocol no. 1
Publisher	Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipropetrovsk) Certificate of Publisher ДК no. 1315 from 31.03.2003
Address of Founder	St. Lazaryana, 2, room 267, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: +38 (056) 371-51-05; e-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua; journal site: http://stp.diit.edu.ua/

Edition is being published since 1936:

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

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК [656.257:625.151.3]:681.518.5

С. Ю. БУРЯК^{1*}, В. И. ГАВРИЛЮК², О. А. ГОЛОЛОВОВА³, А. М. БЕЗНАРЫТНЫЙ⁴

^{1*}Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта bsyur@mail.ru, ORCID 0000-0002-8251-785x

²Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта gvi_dp@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

³Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта gololobova_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

⁴Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта tema_szbist@mail.ru, ORCID 0000-0003-2545-6621

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель. Значительная ответственность за безопасность движения лежит на службе сигнализации и связи железной дороги. Одними из самых уязвимых узлов (как систем автоматики, так и железной дороги в целом) являются стрелочные переводы. Целью исследования является разработка такой системы контроля и диагностики стрелочных переводов, которая в полной мере удовлетворяла бы требования современных условий скоростного движения и движения тяжеловесных поездов и производила диагностирование, сбор и систематизацию данных в автоматизированном режиме. **Методика.** Для достижения поставленной цели были осуществлены исследование строения и описание принципа работы стрелочного электропривода, последовательности срабатывания его основных узлов. В частности рассмотрены и проанализированы рабочие характеристики и параметры, условия эксплуатации, причины отказов в работе, а также требования, предъявляемые к электроприводам и технологии их обслуживания. Определялись основные принципы анализа зависимости характера изменения кривой тока, который протекает в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока. Осуществлялась техническая реализация системы контроля и диагностирования состояния стрелочных электроприводов переменного тока. **Результаты.** Исследованы сигналы, снятые с исправных и неисправных стрелочных электроприводов. **Научная новизна.** Определена строгая взаимосвязь между техническим состоянием стрелки и формой кривой, которую описывает ток в цепи электродвигателя переменного тока в процессе эксплуатации на основании исследования процессов, оказывающих на него влияние во время работы. **Практическая значимость.** Показаны принципы технического подхода касательно перехода от планово-предупредительного обслуживания к обслуживанию по состоянию для более объективной оценки и соответственно более быстрой реакции на возникшие или постепенно возникающие отказы, повреждения и любые другие недостатки в работе стрелочных электроприводов переменного тока.

Ключевые слова: диагностирование; электропривод; стрелка; электродвигатель; автоматизация

Введение

В настоящее время железные дороги в Украине обеспечивают львиную долю перевозок как грузовых, так и пассажирских. Больше десятка служб обеспечивают ее непрерывную работу. Только лишь от качества выполняемой ими работы, а также их точного и безупречного взаимодействия друг с другом зависит скорость и безопасность перевозочного процесса, а также сохранность грузов.

Во многих службах эксплуатируется большое количество оборудования и аппаратуры, которое кроме того, что изношено физически, так же и морально устарело. К этому негативно-му фактору можно добавить и настоящее выполнение технологического процесса согласно графику планово-предупредительного ремонта, который во многих случаях изжил себя, но ничего лучшего взамен до сих пор не внедрено. Согласно ему производится регулярная проверка состояния различных устройств, узлов, агрегатов с устранением возникших неисправностей, дефектов или повреждений на месте. К сожалению, такая система нашла широкое применение более полувека назад, а введена была намного раньше, поэтому она не может обеспечить в настоящее время в полной мере надежной работы и состояния объектов. Это связано в первую очередь со значительно возросшим количеством пар поездов в сутки, увеличенной скоростью их движения и весом перевозимых грузов.

Большая ответственность за безопасность движения лежит на многих службах железной дороги. Одной из которых является служба сигнализации и связи. Именно она обеспечивает выполнение всех условий безопасности при интервальном регулировании движения поездов на перегонах и систем электрической централизации на станциях.

Одним из самых уязвимых узлов, как систем автоматики, так и всей железной дороги в целом, являются стрелочные переводы. Стрелочный перевод очень ответственный узел, который имеет довольно сложное строение, и служит для перевода подвижного состава с одного пути на другой в пределах одной станции или раздельного пункта. От правильности работы и исправности стрелочных переводов зависит не только график выполненного движения, но и его безопасность.

Стрелочные переводы, являющиеся неотъемлемой частью железнодорожной инфраструктуры, представляют один из слабых компонентов пути. Они сложны, подвержены отклонениям геометрических параметров и повреждениям в эксплуатации, поскольку их конструкция включает движущиеся части и крестовину, на которые воздействуют высокие динамические нагрузки. Это повышает стоимость их технического обслуживания и ремонта, обуславливает высокие расходы на текущее содержание пути. С отказами стрелочных переводов, наиболее характерными из которых является неправильное положение остряка и замыкание рельсовых цепей, связаны частые нарушения движения поездов.

Цель

Проверка стрелочных переводов осуществляется в настоящее время при помощи ручных методов измерений и контроля параметров сотрудниками службы сигнализации и связи. Данный способ не может обеспечить необходимой точности и не может дать гарантий, что в промежуток времени между очередными проверками не случится повреждений. Кроме этого присутствует человеческий фактор, на который влияют как погодные условия, так и опыт работы сотрудника, его физиологическое, морально-психологическое состояние и т.д.

Нужно разработать такую систему контроля и диагностики стрелочных переводов, которая в полной мере бы удовлетворяла требованиям современных условий скоростного движения и движения тяжеловесных поездов и производила диагностирование, сбор и систематизацию данных в автоматизированном режиме. Есть большая необходимость внедрять подобного рода системы на станциях с централизованным управлением стрелок. Питание двигателей стрелочных электроприводов при этом осуществляется либо постоянным, либо переменным током с одной панели питания.

Ток, протекающий в рабочей цепи электропривода, изменяется как во временной, так и в частотной областях. Это изменение зависит от того, в каком состоянии находится стрелочный перевод, его основные части и узлы, а также сам электродвигатель. По изменению его амплитудных и частотных составляющих можно делать вывод о его состоянии в данный мо-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

мент, т.е. текущий момент перевода. Далее необходимо собирать и накапливать подобным образом полученную информацию о каждом из действующих на станции приводах. Систематизируя и анализируя накопленные данные о работе стрелочных приводов можно отслеживать характер их изменений и принимать соответствующие меры по устранению, как только возникших, так и постепенно развивающихся отказов.

Методика

Для начала проведения исследования необходимо поставить задачу исследования. Для этого выясним, каким именно образом мы будем определять те или иные неисправности стрелочного перевода. Также нужно определить, на основании каких показателей можно будет в дальнейшем делать вывод об исправном или неисправном состоянии стрелочного перевода.

Итак, суть данного способа заключается в следующем. Выбирается стрелочный перевод конкретного типа, техническое состояние которого соответствует требованиям к содержанию напольных устройств данного типа, предъявляемым инструкциями по эксплуатации. При этом установленный на нем электропривод также не должен иметь каких-либо отклонений от норм всех технических показателей, определяемых проектной документацией и инструкциями. Кроме этого ни стрелочный перевод, ни стрелочный электропривод не должны содержать не типовых элементов, устройств и приспособлений. Башмаки должны быть смазаны, а основание остряков плотно прилегать к ним по всей длине, в редукторе залито масло до необходимого уровня, корень остряков не должен иметь плотного зажатия, а сам электропривод должным образом размещен и закреплен на стрелочном переводе. Для высокой достоверности проводимых измерений состояние всех частей, узлов и оборудования стрелочного перевода должно в точности соответствовать всем требованиям инструкций, а также правилам выполнения всех условий технической эксплуатации.

Несмотря на различия, каждый стрелочный электропривод имеет одни и те же функциональные узлы, среди которых: источник механической энергии – электродвигатель; усилитель вращающего момента электродвигателя и преобразователь его вращательного движения в поступательное движение переводных тяг –

редуктор; фрикционное сцепление (фрикцион) – тормоз, который обеспечивает защиту электродвигателя от перегрузок и торможение вращающихся частей привода в конце перевода стрелки; блок контроля положения стрелки и подготовки цепи реверсирования привода и включения привода спаренной стрелки – автопереключатель.

С целью ознакомления и дальнейшего изучения стрелочного электропривода как объекта исследования, приведем строение и опишем принцип его работы по примеру электропривода типа СП-8. Электропривод (рис. 1) состоит из: корпуса 1, электродвигателя 10, редуктора 8, блока главного вала с автопереключателем 6, уравнивающей муфты 12, шибера 3, контрольных линеек с приварными ушками 4, обогревательного элемента 14, в качестве которого использованы проволочные эмалированные резисторы типа ПЭВ-25-56±10, панели освещения 13, зубчатого колеса с упором 7, направляющей плиты 2, кожуха 5. Вал электродвигателя 10 имеет на одном конце квадратный хвостик для присоединения рукоятки ручного перевода привода вручную, а на другом конце вала на шпонке укреплен специальная муфта 12, которая одновременно соединяется с валом-шестерней редуктора 8. Вал-шестерня и зубчатое колесо находятся в зацеплении через промежуточную пару (вал-шестерня и зубчатое колесо – на одной оси). Вал-шестерня, располагаясь на одном валу с зубчатым колесом, находится в зацеплении с упором зубчатого колеса на главном валу. Упор зубчатого колеса заходит в вырез диска главного вала.

Шибера шестерня выполнена как одно целое с главным валом. Она имеет два запорных и пять рабочих зубьев. Зубья шестерни входят в зацепление с зубьями шибера, на котором имеется четыре рабочих и два специальных запорных зуба.

Контрольные линейки 4 имеют вырезы, в которые попеременно, при ходе их вместе с остряками стрелок, западают зубья рычагов. Контрольные линейки соединены между собой планкой. В корпусе электропривода, в местах выхода рабочего шибера и контрольных линеек, для предохранения от проникновения внутрь него воды и песка устанавливаются уплотнения из войлока. Закрывается электропривод сварной стальной крышкой. Запирается электропривод изнутри спе-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

ціальним замком. Внутрі електропривода установлен кривельний выключатель 11, блокувальні контакти которого выключають рабочую цепь и обогривательные элементы в момент открытия заслонки для открытия крышки привода.

Работа стрелочного электропривода в нормальном режиме эксплуатации состоит из следующих этапов: пускового, отпирания, рабочего хода, запираия и контроля.

Изучим подробнее последовательность, в которой протекает работа стрелочного электропривода.

Пусковой этап работы электропривода начинается со срабатывания прибора, включаю-

щего электродвигатель, вал которого начинает свободное вращение или холостой ход. Во время холостого хода автопереключатель выключает контрольное реле, сигнализируя о начавшемся переводе стрелки, и подготавливается цепь реверсирования.

На следующем этапе, этапе отпирания стрелки, в приводе с внутренним запираием оно происходит в его механизме, а при внешнем запираии – непосредственно на стрелке. Поскольку электропривод типа СП-8 с внутренним запираием, то отпирание на втором этапе срабатывания стрелки происходит в его механизме.

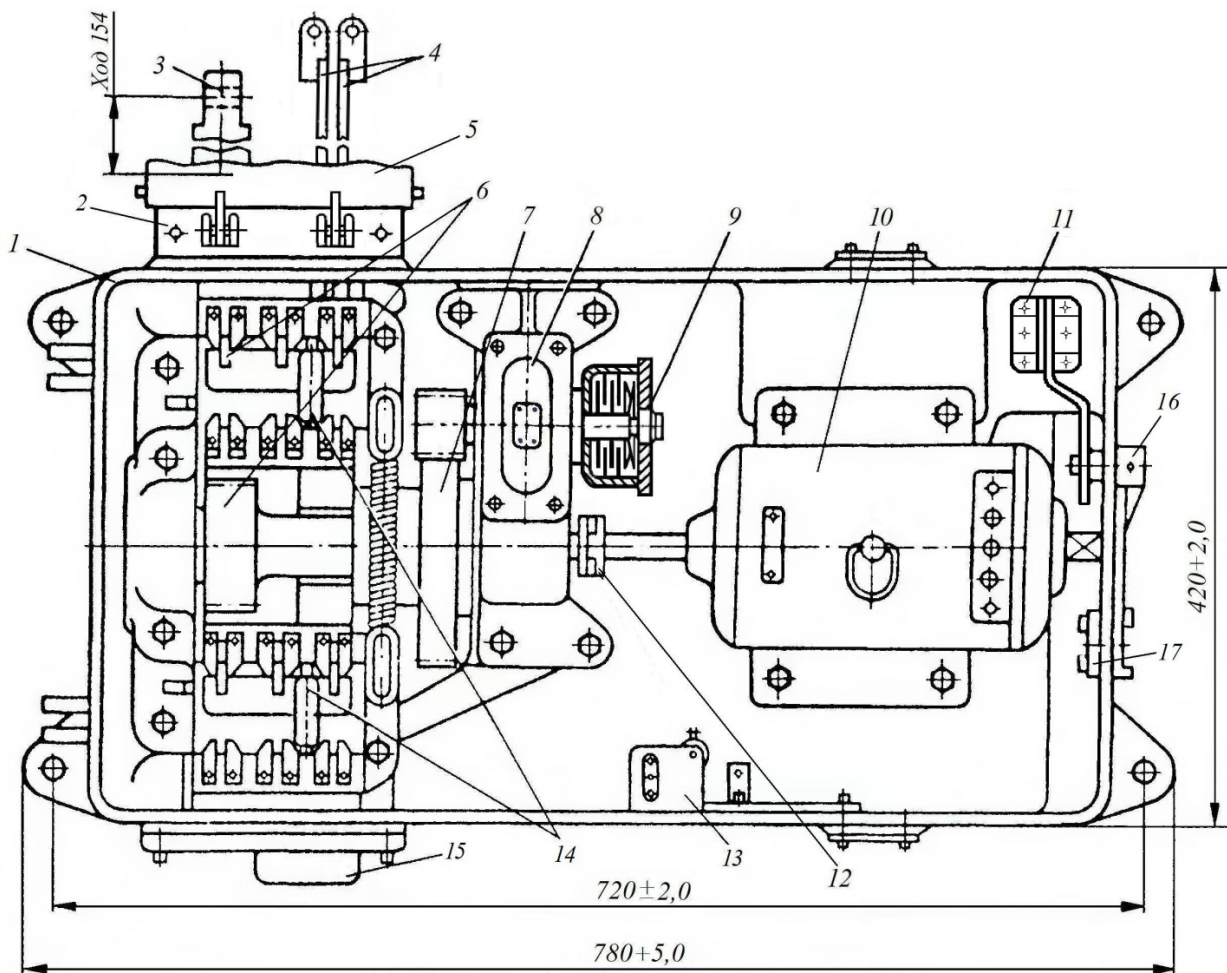


Рис. 1. Стрелочный электропривод типа СП-8:

1 – корпус электропривода; 2 – направляющая плита; 3 – шибер; 4 – контрольные линейки с ушками; 5 – кожух; 6 – блок главного вала с автопереключателем; 7 – зубчатое колесо с упором; 8 – редуктор; 9 – фрикцион; 10 – электродвигатель; 11 – многоконтактное блокировочное устройство; 12 – уравнивательная муфта; 13 – панель освещения; 14 – обогреватели контактов автопереключателя; 15 – боковая крышка; 16 – блокировочное устройство; 17 – замок привода

Fig. 1. Electric turnout type SP-8

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

За отпиранием следует рабочий ход электропривода. При этом шибер 3 (рис. 1), соединенный с рабочей тягой при помощи муфты Гука, толкает или тянет ее в зависимости от направления перевода стрелки. Рабочая тяга воздействует через детали крепления на связную тягу (первую соединительную тягу), заставляя ее двигаться вместе с прикрепленными к ней остриями стрелки. При этом рабочая тяга выступает передаточным звеном между подвижными рабочими частями электропривода и ведомыми частями стрелки. К каждому острию присоединена собственная контрольная тяга, которая во время перевода стрелки перемещается вместе с ним. Контрольные тяги соединены с контрольными линейками и предназначены для соединения и передачи фактического расположения остриев стрелочного перевода. Таким образом, контрольные тяги выполняют посредническую роль между остриями стрелок и контрольными линейками, которые определяют положение остриев как узлы контроля стрелочного электропривода. В конце рабочего хода стрелка занимает новое крайнее положение.

Предпоследний этап – запираание стрелки – осуществляется посредством введения в зацепление зубьев-кулачков шибера 2 и шестерни главного вала 4 (рис. 2).

Заключительный этап – получение сигнала контроля крайнего положения стрелки и выключение двигателя [7].

После выключения электродвигателя кинетическая энергия якоря и других вращающихся масс электропривода гасится фрикционным тормозом. Если электродвигатель в конце перевода не выключился, то привод начинает работать на фрикцию. Это длится до тех пор, пока он не будет выключен или возвращен в исходное положение поворотом рукоятки на центральном посту или автоматическим устройством, срабатывающим по истечении 8–10 с при ЭЦ и ДЦ и 1,2 с при ГАЦ, или пока не перегорит предохранитель в рабочей цепи [4].

Для того, чтобы перейти к определению диагностических признаков, приведем рабочие характеристики и параметры исправного стрелочного перевода и установленного на нем оборудования, а также нормальные условия их эксплуатации.

К основным характеристикам электропривода типа СП-8 относятся: максимально разви-

ваемое тяговое усилие 6 000 Н, максимальное время перевода 7 с, электропитание переменным током при номинальных напряжениях 110 В и 190 В, габаритные размеры 780×955×255 мм, масса 165 кг, установка с правой или левой стороны стрелки.

Ток при работе электродвигателя на фрикцию должен быть на 25–30 % выше тока, потребляемого при нормальном переводе. Электропривод без нагрузки на шибере разрешается включать кратковременно не более чем для пяти переводов. Механическая передача электропривода типа СП-8 четырехкаскадная (две цилиндрические зубчатые пары в закрытом редукторе и две вне его) с общим передаточным числом – 70,5.

Сопротивление изоляции между контактными зажимами электродвигателя, контактами колодок и корпусом привода при температуре (+ 25±10) °С и относительной влажности окружающего воздуха до 80 % должно быть не менее 25 МОм, свыше 80 % – не менее 10 МОм. Глубина врубания ножей автопереключателя между контактными пружинами 9–11 мм.

Средняя наработка на отказ электропривода СП-8 составляет $6,2 \cdot 10^5$ переводов рабочего шибера. Назначенный ресурс (суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния) при условии соблюдения правил эксплуатации составляет $1 \cdot 10^6$ переводов рабочего шибера при нагрузке до 3,5 кН (350 кгс) и $5 \cdot 10^5$ переводов при нагрузке на шибере 6 кН (600 кгс). Для обеспечения безотказной работы электропривода в пределах назначенного ресурса необходимо производить замену пружин, колодок с ножами и колодок контактных через 500 тысяч переводов, а также замены электродвигателей в соответствующие сроки. Средний же срок службы до списания электропривода, исходя из назначенного ресурса, составляет около 20 лет.

Все трущиеся поверхности деталей привода смазывают, а редуктор заливают промышленными маслами ИС-12, ИС-20 или ИС-45. Диски фрикции смазывают смазкой ЦИАТИМ-201.

Электроприводы надежно работают при температуре от – 40 до + 50 °С.

Для того, чтобы иметь представление о признаках неисправностей стрелочных электроприводов, рассмотрим причины отказов в их работе.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

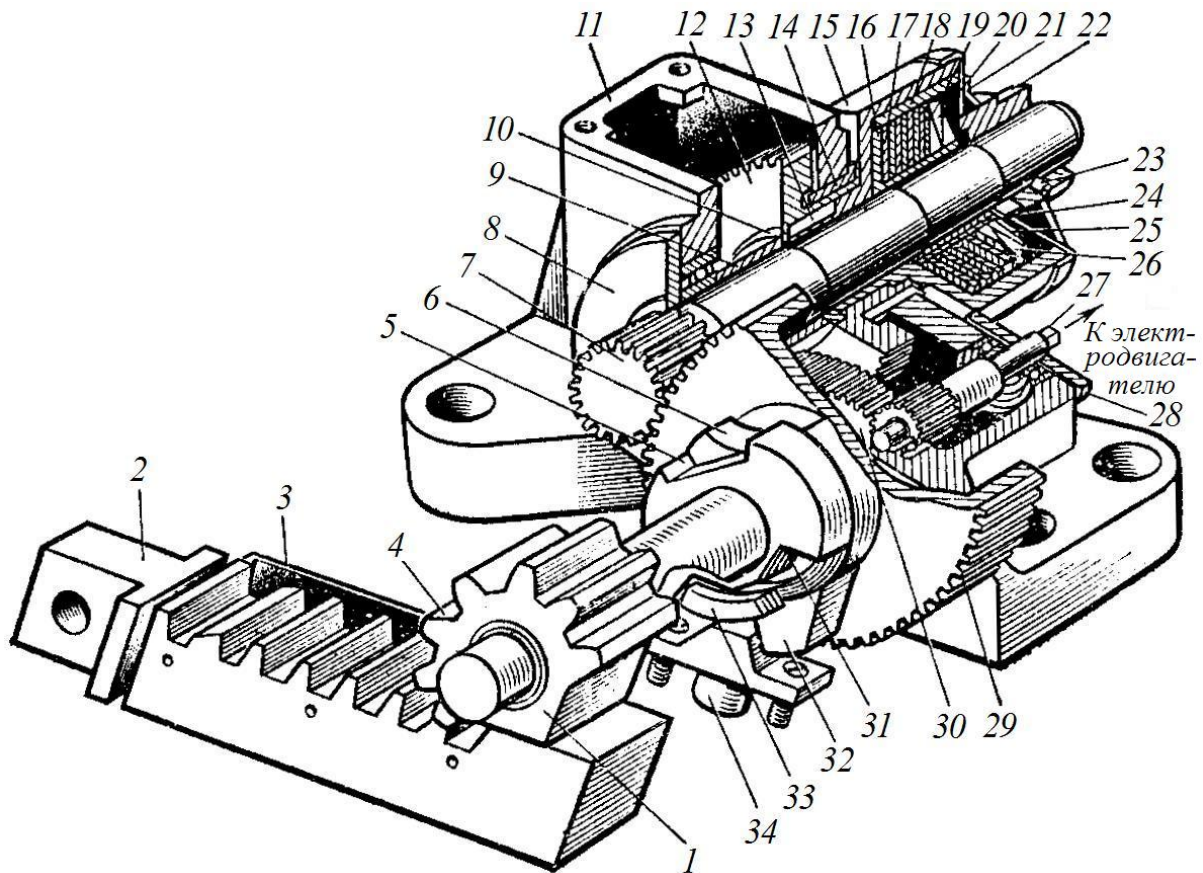


Рис. 2. Передаточный механизм привода типа СП-8:

1 – ограничитель поворота; 2 – зубчатая рейка-шибер; 3 – стенка масляной ванны, прикрепленная винтами с потайными головками к шиберу; 4 – главный вал-шестерня с пятью рабочими и двумя запирающими зубьями; 5 – шайба главного вала с угловыми вырезами для обеспечения мгновенности западания переключающего рычага и дополнительного запирания им главного вала; 6 – радиальный вырез на выступающей цилиндрической части; 7 – выходной вал-шестерня редуктора; 8 – задняя крышка редуктора; 9 – распорное кольцо; 10 – шайба, предотвращающая выпадение шпонок; 11 – корпус редуктора; 12 – зубчатое колесо; 13 – шпонки; 14 – подшипник скольжения; 15 – корпус фрикциона; 16 – стальная втулка; 17 – подвижные диски; 18 – шпонка; 19 – стальные диски; 20 – три тарельчатые пружины, сжимающие набор дисков фрикциона; 21 – шайба, прикрепленная точечной сваркой к крышке фрикциона; 22 – гайка, регулирующая нажатие трех тарельчатых пружин; 23 – стопорный винт, предотвращающий самоотвинчивание гайки тарельчатых пружин; 24 – шпонки; 25 – предохранительная шайба гайки тарельчатых пружин; 26 – пружины, прижимающие подвижные диски фрикциона к неподвижным; 27 – входной вал-шестерня редуктора; 28 – передняя крышка редуктора; 29 – зубчатое колесо; 30 – зубчатое колесо; 31 – шайба главного вала с угловыми вырезами для обеспечения холостого хода привода; 32 – трапециевидный выступ на ступице зубчатого колеса; 33 – выступ на выступающей цилиндрической части; 34 – запрессованный в корпусе привода упор

Fig. 2. Drive transfer mechanism type SP-8

Наиболее характерными причинами отказов в работе электропривода являются:

- повреждение редуктора;
- нарушение работы фрикционного сцепления;
- заклинивание шибера с рабочей шестерней;
- разрегулировка контрольных тяг;
- подгар или нарушение регулировки контактов автопереключателя;
- индивение или обледенение контактов автопереключателя;

- излом контактов автопереключателя;
- излом шлифта и выпадение валика;
- прочие отказы.

Наибольшее число отказов приходится на потерю контакта в автопереключателе зимой и связано с индивением контактов. Для предотвращения таких случаев предусмотрены различные защитные меры (графитовая смазка, смазка глицерином, обогрев, специальные насечки на ножах, закрытие оргстеклом и др.). Если кон-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

тактное нажатие автопереключателя больше нормы, то при размыкании контактов это создаст дугообразование при разрыве рабочих контактов и их подгар. Если же контактное нажатие меньше нормы, то возможно нарушение электрической цепи, особенно в период индивения.

Излом колодочки автопереключателя происходит обычно из-за неправильной регулировки врубания ножей, разбивающих колодочки. Излом контакта автопереключателя может быть из-за неправильной регулировки контактов (загнутые концы контактных пружин должны находиться на одной прямой без перегибов). Излом может произойти также ввиду частой регулировки контактной губки.

Причинами недостаточного врубания ножей автопереключателя могут быть следующие неисправности:

- кулачок автопереключателя упирается в контрольную линейку вследствие неправильной ее регулировки. Обнаружить это можно нажатием на контрольную тягу. Контрольная линейка, препятствующая западанию кулачка, в этом случае будет перемещать ножи автопереключателя;

- палец ползуна, на который опирается замыкающий рычаг, находится ниже поверхности барабана из-за ослабления крепящих болтов или нарушений его размеров.

К требованиям по эксплуатации стрелочных электроприводов можно отнести следующее. Электрическое сопротивление изоляции между токоведущими частями, соединенными между собой и корпусом электропривода, не должно быть менее 100 МОм в нормальных климатических условиях и 0,5 МОм – при температуре + 30 °С и относительной влажности воздуха 98 %.

Электрическая прочность изоляции электропривода в нормальных климатических условиях должна выдерживать в течение (60±5) с действие испытательного напряжения переменного тока частотой 50 Гц от источника мощностью не менее 0,5 кВА, приложенного между клеммами электродвигателя, контактными колодками, соединенными между собой, и корпусом электропривода без пробоя и явления поверхностного перекрытия 1 500 В.

При вращении входного вала редуктора ручкояткой ручного перевода не должно быть толчков и заеданий шестерен и колес.

В собранном электроприводе при передвижении шибера из одного крайнего положения

в другое пружины автопереключателя должны обеспечивать размыкание ножей с пружинами контактных колодок.

Врубание ножей в контактные пружины должно быть на глубину не менее 9 мм. При врубании ножей рессорные пружины контактных колодок должны отжиматься в пределах 0,5–1,4 мм. Отжим пружин должен быть равномерным.

При взрезе стрелки или сближении остряка (вследствие деформации тяг от ударов и т. п.) рычаги с колодками контактных ножей в электроприводе, опираясь на верхнюю плоскость контрольных линеек, должны занять среднее положение и разомкнуть контакты. При этом зазор с каждой стороны между ножами и контактными пружинами должен быть не менее 2,5 мм.

При повороте заслонки вниз контактные ножи блок-контактов должны полностью разомкнуть блокировочные контакты. При повороте заслонки вверх после нажатия на блокировочную собачку контактные ножи должны врубаться в блокировочные контакты. Отжатие контактных пружин при этом должно быть равномерным.

Расстояние между открытыми токоведущими частями и любой неизолированной деталью электропривода не должно быть менее 6 мм.

Электропривод имеет уплотнения по контуру крышки, в местах выхода шибера, контрольных линеек и отверстий, перекрывааемых заслонкой (под ключ и курбель). Крышка электропривода запирается замком, который при воздействии поперечных усилий не более 300 Н и вертикальных не более 400 Н не должен отпираться.

Электропривод должен обеспечивать потерю контроля положения стрелки:

- при рассоединении одной из контрольных тяг с остряком и последующем переводе стрелки, а также возвращении стрелки в исходное положение;

- при вытягивании контрольной линейки ближнего остряка из корпуса электропривода на величину 10–210 мм;

- при изгибе контрольной тяги дальнего остряка и вытягивании при этом линейки дальнего остряка из корпуса электропривода на 25–110 мм независимо от положения линейки ближнего остряка и на величину 25–210 мм, если при этом одновременно вытягивается ли-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

нейка ближнього остряка из корпуса электропривода на величину 10–210 мм. При переводе после этого стрелки в другое крайнее положение (шибер выдвинут) контроль положения стрелки должен отсутствовать, если суммарное вытягивание линейки дальнего остряка из корпуса составляет 185–360 мм.

Электропривод в положении «шибер выдвинут» должен обеспечивать потерю контроля положения стрелки при частичном втягивании (вталкивании) линейки дальнего остряка в корпус на величину 10 мм и более – до упора ушка линейки в направляющую плиту электропривода.

Электропривод должен обеспечивать потерю контроля положения стрелки при сближении остряков (вследствие деформации тяг от ударов и т.д.). Величина перемещения контрольной линейки от момента упора ее в заднюю поверхность зуба контрольного рычага до размыкания контактов должна быть не более 14 мм.

Электропривод СП должен обеспечивать круглосуточную работу и быть ремонтнопригодным при эксплуатации до предельного состояния, то есть до наработки назначенного ресурса.

Технология обслуживания централизованных стрелок включает в себя наружную проверку состояния приводов и стрелочных гарнитур централизованных стрелок, которую выполняют два раза в неделю на стрелках, участвующих в маршрутах приема и отправления, и не реже одного раза в неделю на остальных стрелках [8, 9, 10].

При этом проверяют: плотность прижатия остряка к рамному рельсу без перевода стрелки; надежность и правильность крепления привода, гарнитур, контрольных и рабочих тяг; отсутствие видимых трещин и вмятин на корпусе привода, фундаментных и крепежных угольниках, продольной связной полосе, рабочих и контрольных тягах; шплинтов и закруток в болтах и валиках; отсутствие препятствия в шпальном ящике для движения тяг. Особое внимание обращают на наличие и исправность стопорных планок. При осмотре необходимо обращать внимание на недостатки стрелочного перевода, которые могут нарушить нормальную работу электропривода.

Плотность прижатия остряка к рамному рельсу, стрелок при закладке шаблона толщиной 4 мм и запираение стрелок при закладке

шаблона 2 мм проверяют один раз в неделю на стрелках, входящих в маршруты приема и отправления, и один раз в две недели на остальных стрелках.

При закладке шаблона толщиной 4 мм между остряком и рамным рельсом стрелка не должна замыкаться и давать контроль окончания перевода, т. е. электропривод должен продолжать работать на фрикцию; при закладке шаблона толщиной 2 мм стрелка должна переводиться и давать контроль окончания перевода, при этом шибер не должен заклиниваться.

При внутренней проверке электропривода с переводом стрелки, производимой один раз в четыре недели, проверяют: состояние и крепление внутренних частей привода; состояние монтажа и его крепление; правильность регулировки контрольных тяг; состояние коллектора и щеткодержателей двигателя; уровень масла в редукторе электропривода СП; уплотнения привода; работу блокировочной заслонки и действие замка; состояние контактов и врубание ножей автопереключателя; взаимодействие частей электропривода и работу автопереключателя.

При внутренней проверке стрелочной коробки и муфты УПМ, производимой один раз в 3 месяца, проверяют: монтаж; исправность реверсирующего реле; состояние и действие контакта местного управления, корпуса шланга; уплотнение.

Проверяя токи, потребляемые электродвигателем при нормальном переводе стрелки и работе электродвигателя на фрикцию, определяют значение токов, которые нормируются в зависимости от крестовины стрелочного перевода, рельсов, электропривода, электродвигателя и рабочего напряжения на электродвигателе.

В связи с тем, что ЭЦ проектируют только с двигателями трехфазного тока, далее приведена технология регулировки фрикционного сцепления электроприводов СП. Эту регулировку выполняют с применением специального устройства, содержащего динамометр ДОСМ-3-1, максимальное измеряемое усилие которого равно 9 800 Н. Данное устройство позволяет устанавливать и удерживать динамометр между рамным рельсом и остряком стрелки.

Для измерения усилия перевода стрелки необходимо фрикционное сцепление отпустить до состояния, при котором обеспечивается свободный проворот фрикционного устройства

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

двигателем электропривода без перевода стрелки. Затем фрикционное сцепление нужно зажать до состояния, при котором стрелка начинает переводиться, и измерить динамометром установленное усилие, которое и будет усилием перевода стрелки.

Усилие замыкания стрелки может быть большим в сравнении с усилием перевода. В этом случае фрикционное сцепление необходимо затянуть до состояния, при котором замыкается стрелка, и измерить усилие замыкания.

При регулировке фрикционное сцепление затягивают с необходимым усилием, установленным для данного типа стрелочного перевода, которое измеряют динамометром [5, 6].

Как видно из приведенной выше технологии обслуживания и настройки стрелочных приводов и коммуникаций, которые к ним относятся, процесс проверки их состояния и длительность устранения повреждений, включая профилактический осмотр, занимает много времени и основывается в большей степени на навыках работников службы сигнализации и связи в выполнении различных операций с целью обеспечения в лучшем случае исправного, а в худшем – работоспособного состояния системы. При проведении технического обслуживания и выполнении ремонтных или восстановительных работ сотрудник основывается на собственных знаниях, восприятии и понимании происходящих процессов и взаимных зависимостей. В каждом конкретном случае определения неисправности того или иного узла стрелочного перевода или всей системы в целом служащему приходится тратить много времени на поиск причины отказа, которое, как правило, занимает половину времени, требующегося на устранение повреждения [1, 2], а иногда и большую его часть.

В связи с этим существует острая необходимость обновления устройств обеспечения движения поездов, поскольку настоящие системы морально и технически устарели, а методика планово-предупредительного ремонта изжила себя, как один из видов ведения хозяйственной деятельности, относящейся к периоду начала развития и внедрения технических способов решения промышленных задач. К тому же требуется не только переход на принципиально новые технологии и системы, но и устранение подходов, заложенных в методах планово-предупредительного ремонта.

С повышением скоростей движения поездов у обслуживающего персонала остается значительно меньше времени на устранение повреждений. В связи с тем, что данное время можно разделить на промежуток времени от момента появления неисправности до момента информирования о нем соответствующего сотрудника, время прибытия, поиск повреждения и собственно его устранение, то, уменьшив хоть одно из составляющих, есть возможность сократить общую его длительность. Поскольку повлиять на время для прибытия сотрудника на место повреждения очень трудно, а полная замена оборудования требует значительных капиталовложений, что не всегда соответствует возможностям и является рациональным подходом, то остается возможность выиграть время на этапе установления факта появления повреждения и сократить время поиска повреждения, которое стало причиной отказа.

Сделать это можно при помощи автоматизации системы контроля и диагностирования стрелочных переводов. Автоматизированная система контроля и диагностирования кроме того, что позволит в режиме реального времени собирать данные о состоянии объектов, находящихся на удалении от поста электрической централизации, и в случае изменения значений соответствующих показателей выдавать сообщения об отказном или предотказном состояниях, предотвращая тем самым задержки поездов по вине повреждений стрелочного перевода, но также и сможет обеспечить устранение временного промежутка от появления неисправности до поступления о ней информации к компетентным сотрудникам. В данную систему нужно также заложить основные типы отказов и причины их появления для возможности проведения идентификации. При появлении повреждения такая система не только сможет его определить, но и выдать рекомендации по способу его устранения, инструменту, деталям и измерительным приборам, которые нужно взять с собой, выдвигаясь на объект с повреждением, а также автоматически выполнять запись в электронном журнале о выполненных работах [3].

Рассмотрим техническую реализацию системы контроля и диагностирования состояния стрелочных электроприводов переменного тока.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

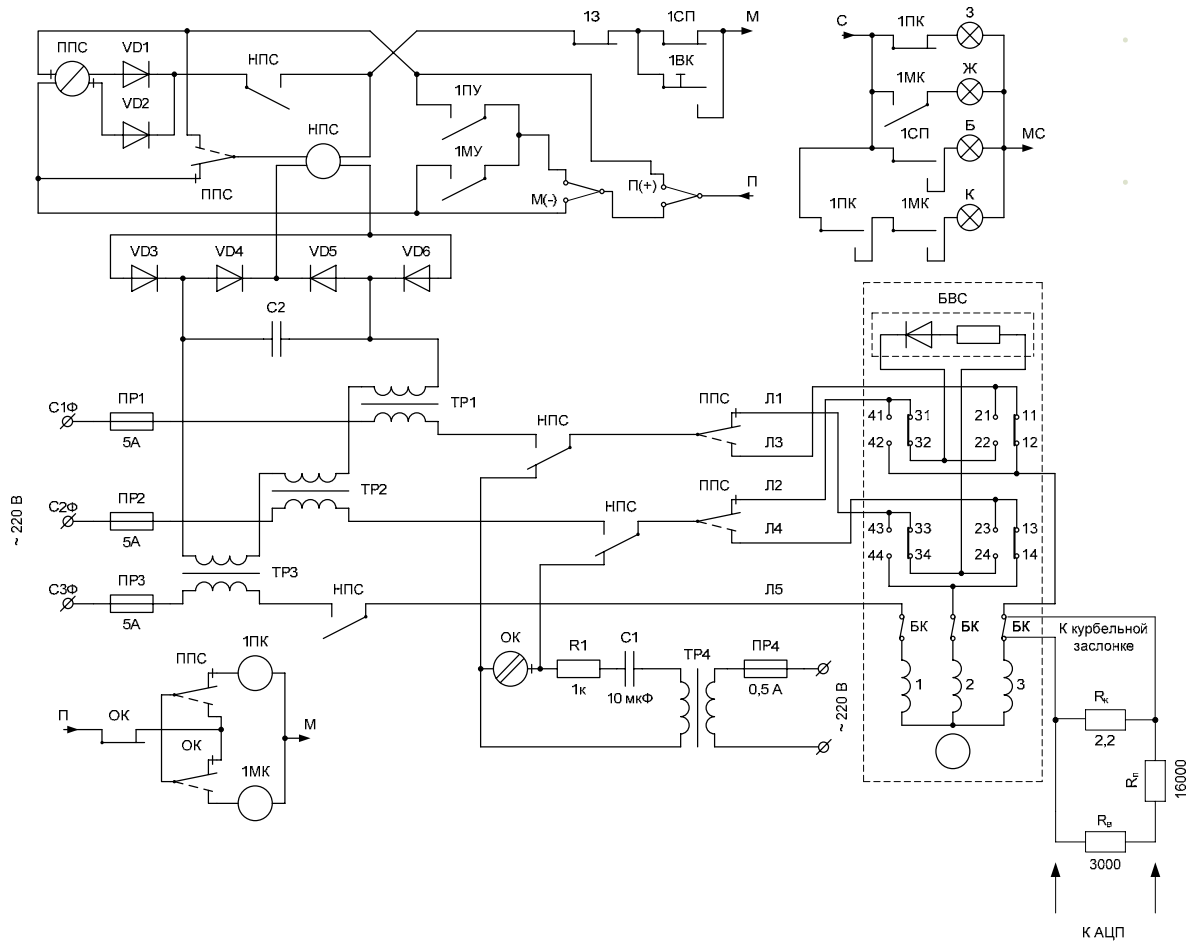


Рис. 3. Схема подключения измерительного устройства к электроприводу с пятипроводной схемой управления стрелкой

Fig. 3. Measuring device connection scheme to the electric turnout with five-wire control circuit

Выполняется подключение, как показано на рис. 3, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) через делитель напряжения к рабочей цепи пятипроводной схемы управления стрелкой. Для этого в разомкнутую кurbельным выключателем 11 (рис. 2) рабочую цепь электропривода ставится на один из выводов переключателя, а на другой – последовательно включается делитель напряжения. Производится запись формы кривой тока, который протекает в цепи стрелочного электродвигателя переменного тока при переводе стрелки из одного положения в другое и обратно. Этот сигнал сначала анализируется в амплитудной и частотной областях. При этом определяются так называемые «маркеры», т.е. основные параметры сигнала, по которым можно вести сравнение, среди которых: длительность сигнала, его максималь-

ные и минимальные значения. Затем сам сигнал и результаты его анализа сохраняются и используются как эталонные для того, чтобы в дальнейшем применять их в качестве образцов исправного состояния стрелочного перевода и электропривода, установленного на нем. Делитель напряжения применяется с целью защиты АЦП от возможных скачков напряжения.

Рассмотренные ранее недостатки, повреждения и отказы в работе стрелочного перевода имеют так или иначе отражение на работе двигателя электропривода, а именно на характере тока в его обмотках, который является следствием реакции электрической машины на изменяющиеся внешние факторы и нагрузку. Путем подбора признаков различных дефектов попробуем симитировать различные виды выхода его из строя и приводящие к этому причины.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Таким образом, в основе исследования лежит анализ зависимости характера изменения кривой тока, который протекает в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока.

Для установления зависимости формы и амплитуды тока от вида и характера нагрузки, а также качественного и количественного определения реакции двигателя стрелочного электропривода на влияние различных неисправностей по току в его обмотках, были выполнены измерения и запись формы токовой кривой в условиях реальной эксплуатации стрелки.

Испытания проводились в реальных условиях на действующих стрелках с маркой крестовины 1/11 и типом рельс Р65, уложенных на железобетонные шпалы как по главному ходу, так и на боковых путях. Тип стрелочного электропривода выбран соответственно рассмотренному ранее типу СП-8 с двигателем переменного тока типа МСТ-0,3. Условия окружающей среды во время выполнения измерений: температура воздуха – 25 °С, влажность – 65 %.

Результаты

Рассмотрим и разберем несколько примеров записей токовой кривой. Открываем сохраненные записи сигналов токовых кривых при помощи команды `sptool` в поле команд программы MATLAB [11–13].

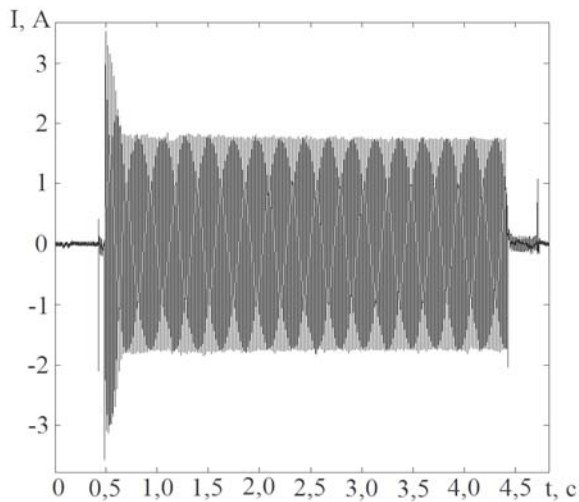


Рис. 4. Ток нормального перевода

Fig. 4. Normal translation current

На рис. 4 изображена временная зависимость тока нормального перевода, которую можно охарактеризовать равномерным значе-

нием по всей протяженности перевода. В конце перевода заметен незначительный ток остаточного вращающегося поля статора.

На рис. 5 показана характеристика тока, при работе привода на фрикцию, для определения правильности регулировки нажатия тарельчатых пружин.

Особое внимание заслуживают кривые тока, изображенные на рис. 6, поскольку способны определять на начальных стадиях отклонения от нормальной работы автопереключателя, одного из самых ненадежных узлов как стрелочного привода отдельно, так и всей стрелки.

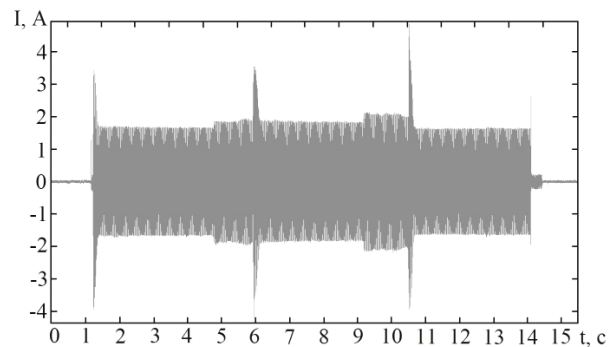


Рис. 5. Ток работы на фрикцию

Fig. 5. Friction current

Автопереключатель, который имеет наиболее правильную регулировку установленных колодок, контактных пластин и пружин переключающих рычагов имеет наименьшее время переключения с наименьшей амплитудой переходного значения тока (рис. 6, а). По мере разрегулировки и выхода из строя различных составляющих время и абсолютное значение тока в зоне контакта будут увеличиваться (рис. 6, б; 5, в).

На основании выдвинутого предположения были проведены измерения на стрелочном переводе, восстановленном после взреза с последовавшим сходом локомотива и первых двух вагонов. Среди свойственных неисправностей, вызванных взрезом стрелки, добавилась еще изогнутый остряк, который опирался на второй остряк и переводился в подвешенном состоянии, что уменьшало сопротивление движению стрелки при переводе и при измерениях (рис. 7) отображено уменьшением величины тока.

В связи с появившимися люфтами в узлах крепления увеличилось время перевода стрелки, что также является неотъемлемым признаком ее состояния.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

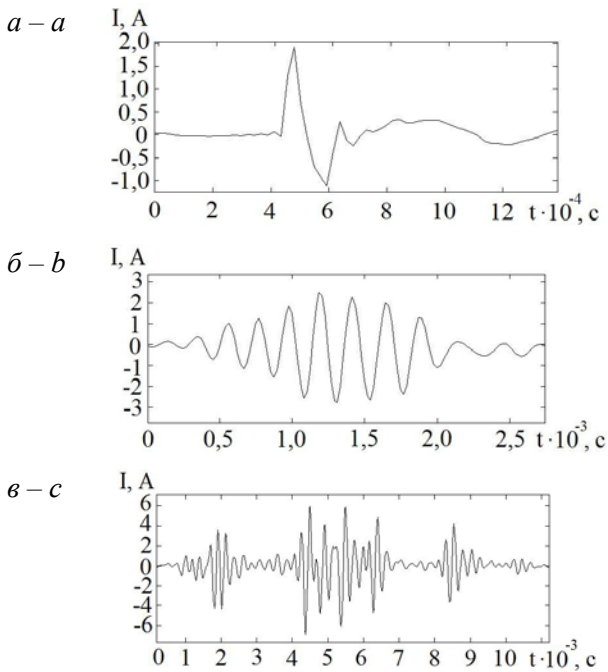


Рис. 6. Ток замыкания автопереключателя:
 а – исправный; б – ослабление пружин; в – ослабление контактных пластин и пружин

Fig. 6. Autoswitches connection current:

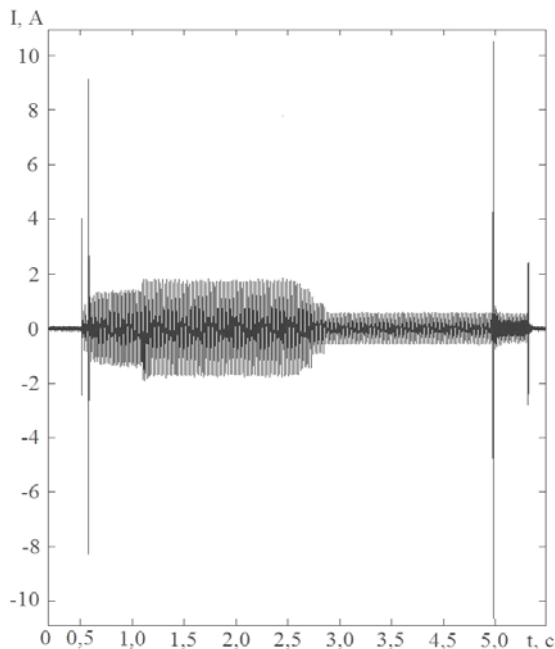


Рис. 7. Ток перевода стрелки с дефектами

Fig. 7. Turnout with defects transfer current

Определение не рассмотренных отказов, приведенных ранее, требует дополнительного времени, глубокого изучения и детального анализа.

Научная новизна и практическая значимость

Впервые получены практические результаты по диагностированию стрелочных переводов с электроприводами переменного тока, которые подтверждаются многочисленными опытами. Определена строгая взаимосвязь между техническим состоянием стрелки и формой кривой, которую описывает ток в цепи электродвигателя переменного тока в процессе эксплуатации на основании исследования процессов, оказывающих на него влияние во время работы.

Полученные результаты исследований показывают принципы технического подхода к переходу от планово-предупредительного обслуживания к обслуживанию по состоянию для более объективной оценки и соответственно более быстрой реакции на возникшие или постепенно возникающие отказы, повреждения и любые другие недостатки в работе стрелочных электроприводов переменного тока. Исследования показали, что время, сэкономленное на поиск повреждения, в большинстве случаев оказывает решающее влияние на длительность восстановительных работ, а поэтому данная система в условиях настоящего уровня загруженности обслуживающего персонала становится все более и более необходимой.

Выводы

Железнодорожный путь представляет собой с точки зрения охраны труда опасный для жизни и здоровья человека участок территории, время пребывания на котором связано с опасностью наезда подвижного состава. Поэтому, чем меньше время пребывания сотрудников железнодорожного транспорта в зоне движения поездов, тем меньше вероятность происшествия несчастного случая. В связи с этим переход от существующей системы ведения хозяйственной деятельности к предлагаемой является необходимостью с точки зрения безопасности проведения работ в зоне повышенной опасности, которую представляет собой железнодорожный путь. Кроме этого, предлагаемая система позволяет облегчить труд и повысить его качество, а также увеличить его производительность.

Предложенный способ автоматизированной диагностики стрелочных переводов позволит

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

также объективно оценивать их состояние в реальном времени и оперативно реагировать на отказы, что позволит, кроме уменьшения количества задержанных поездов по причине неуправляемости стрелок, устранять предотказные состояния, установленные на основании анализа истории изменения рабочих характеристик, а также временных и амплитудных показателей тока электропитания двигателя при переводе стрелки.

Таким образом, внедрение системы автоматизированной диагностики стрелочных приводов является на сегодняшний день острой необходимостью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Буряк, С. Ю. Mathematical modeling of AC electric point motor / С. Ю. Буряк // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 2 (50). – С. 7–20.
2. Буряк, С. Ю. Математичне моделювання стрілочного електроприводу / С. Ю. Буряк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 172–175.
3. Гололобова, О. О. Математичне моделювання вхідних пристроїв системи автоматичної локомотивної сигналізації / О. О. Гололобова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 2 (50). – С. 21–30.
4. Иванов, Г. Я. Электропривод и электрооборудование : учеб. пособие / Г. Я. Иванов, А. Ю. Кузнецов, В. В. Дмитриев // Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т. – Новосибирск, 2011. – 54 с.
5. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування. ЦШЕОТ 0012. – К. : Укрзалізниця, 1998. – 72 с.
6. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування. ЦШ 0042. – К. : Укрзалізниця, 2006. – 461 с.
7. Резников, Ю. М. Электроприводы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю. М. Резников. – М. : Транспорт, 1985. – 288 с.
8. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира [Энрико Андерс, Томас Берндт, Игорь Долгий и др.] ; под ред. Грегора Тега, Сергея Власенко. – Гамбург : Интекст, 2010. – 488 с.
9. Сороко, В. И. Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника на железных дорогах России : энцикл. : в 2 т. Т. 1 / В. И. Сороко, В. М. Кайнов, Г. Д. Казиев. – М. : НПФ «Планета», 2006. – 736 с.
10. Федотов, А. Е. Техническое обслуживание централизованных стрелок. / А. Е. Федотов, О. К. Кочмарская. – М. : Транспорт, 1988. – 96 с.
11. Chaparro, Luis F. Signals and Systems Using MATLAB / Luis F. Chaparro // Department of Electrical and Computer Engineering University of Pittsburgh. – Oxford : Elsevier, 2011. – 752 p. doi: 10.1016/b978-0-12-394812-0.00014-0.
12. Corinthios, Michael. Signals, Systems, Transforms, and Digital Signal Processing with MATLAB / Michael Corinthios. – Boca Raton : CRC Press Taylor & Francis Group, 2009. – 1316 p.
13. Leis, John William. Digital Signal Processing Using MATLAB for Students and Researchers / John William Leis // University of Southern Queensland. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2011. – 382 p. doi: 10.1002/9781118033623.

С. Ю. БУРЯК^{1*}, В. І. ГАВРИЛЮК², О. О. ГОЛОЛОВА³, А. М. БЕЗНАРИТНИЙ⁴

^{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, ел. пошта bsyur@mail.ru, ORCID 0000-0002-8251-785x

²Каф. «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, ел. пошта gvi_dp@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

³Каф. «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, ел. пошта gololobova_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

⁴Каф. «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, ел. пошта tema_szbist@mail.ru, ORCID 0000-0003-2545-6621

ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК СТІЛОЧНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета. Значну відповідальність за безпеку руху покладено на службу сигналізації та зв'язку залізниці. Одними з найбільш уразливих вузлів (як систем автоматики, так і залізниці в цілому) є стрілочні переводи. Метою дослідження є розробка такої системи контролю та діагностики стрілочних переводів, яка б повною мірою задовольняла вимоги сучасних умов швидкісного руху й руху великовантажних поїздів і виконувала діагностування, збір та систематизацію даних в автоматизованому режимі. **Методика.** Для досягнення поставленої мети були здійснені дослідження будови й опис принципу роботи стрілочного електроприводу, послідовності спрацьовування його основних вузлів. Зокрема, розглядалися та аналізувалися робочі характеристики й параметри, умови експлуатації, причини відмов у роботі, а також вимоги, що пред'являються до електроприводів і технології їх обслуговування. Визначалися основні принципи аналізу залежності характеру зміни кривої струму, який протікає в робочому колі стрілочного електроприводу змінного струму. Проводилася технічна реалізація системи контролю та діагностування стану стрілочних електроприводів змінного струму. **Результати.** Досліджено сигнали, зняті зі справних і несправних стрілочних електроприводів. **Наукова новизна.** Визначено суворий взаємозв'язок між технічним станом стрілки й формою кривої, яку описує струм у колі електродвигуна змінного струму в процесі експлуатації на підставі дослідження процесів, що впливають на нього під час роботи. **Практична значимість.** Показано принципи технічного підходу щодо переходу від планово-попереджувального обслуговування до обслуговування за станом для більш об'єктивної оцінки та відповідно більш швидкої реакції на миттєво або поступово виникаючі відмови, пошкодження й будь-які інші недоліки в роботі стрілочних електроприводів змінного струму.

Ключові слова: діагностування; електропривод; стрілка; електродвигун; автоматизація

S. YU. BURYAK^{1*}, V. I. GAVRILYUK², O. O. HOLOLOBOVA³, A. M. BEZNARYTNYI⁴

^{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, e-mail bsyur@mail.ru, ORCID 0000-0002-8251-785x

²Dep. «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, e-mail gvi_dp@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

³Dep. «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, e-mail gololobova_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

⁴Dep. «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, e-mail tema_szbist@mail.ru, ORCID 0000-0003-2545-6621

DIAGNOSTIC FEATURES RESEARCH OF AC ELECTRIC POINT MOTORS

Purpose. Considerable responsibility for safety of operation rests on signal telephone and telegraph department of railway. One of the most attackable nodes (both automation systems, and railway in whole) is track switches. The aim of this investigation is developing such system for monitoring and diagnostics of track switches, which would fully meet the requirements of modern conditions of high-speed motion and heavy trains and producing diagnostics, collection and systematization of data in an automated way. **Methodology.** In order to achieve the desired objectives research of a structure and the operating principle description of the switch electric drive, sequence of triggering its main units were carried out. The operating characteristics and settings, operating conditions, the causes of failures in the work, and requirements for electric drives technology and their service were considered and analyzed. Basic analysis principles of dependence of nature of the changes the current waveform, which flows in the working circuit of AC electric point motor were determined. Technical implementation of the monitoring and diagnosing system the state of AC electric point motors was carried out. **Findings.** Signals taken from serviceable and defective electric turnouts were researched. **Originality.** Identified a strong interconnection between the technical condition of the track switch and curve shape that describes the current in the circuit of AC electric point motor during operation which is based on the research processes that have influence on it during operation. **Practical value.** Shown the principles of the technical approach to the transition from scheduled preventive maintenance to maintenance of real condition for a more objective assessment and thus more rapid response to emerging or failures when they occur gradually, damages and any other shortcomings in the work track switch AC drives.

Keywords: diagnostics; AC electric point motor; track switch; electric motor; automation

REFERENCES

1. Buryak S.Yu. Mathematical modeling of AC electric point motor. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 2 (50), pp. 7-20.
2. Buriak S.Yu. Matematychnе modeliuвання strilochnoho elektroprivodu [Mathematical modeling of turnouts electric drive]. *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. 172-175.
3. Hololobova O.O. Matematychnе modeliuвання vkhidnykh prystroiv systemy avtomatychnoi lokomotyvnoi syhnalizatsii [Mathematical modeling of the input devices in automatic locomotive signaling system]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2014, issue 2 (50), pp. 21-30.
4. Ivanov G.Ya., Kuznetsov A.Yu., Dmitriyev V.V. *Elektroprivod i elektrooborudovaniye* [Electric drive and electric equipment]. Novosibirsk, Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. Inzhenernyy institute Publ., 2011. 54 p.
5. *Instruktsiia z tekhnichnoho obsluhovuvannya prystroiv syhnalizatsii, tsentralizatsii ta blokuvannya. TSSHEOT 0012* [Signaling, centralization and blocking manual maintenance]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 1988. 75 p.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

6. *Prystroji syhnalizatsii, tsentralizatsii ta blokuвання. Tekhnolohiia obsluhovuvannia. TSSH 0042* [Signaling, centralization and blocking devices. Maintenance technology]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2006. 461 p.
7. Reznikov Yu.M. *Elektroprivody zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Electric drives of railway automatics and remote control]. Moscow, Transport Publ., 1985. 288 p.
8. Enriko Anders, Tomas Berndt, Igor Dolgiy, Gregor Teeg, Sergey Vlasenko. *Sistemy avtomatiki i telemekhaniki na zheleznykh dorogakh mira* [Railway Signalling & Interlocking. International Compendium]. Hamburg, Intekst Publ., 2010. 488 p.
9. Soroko V.I., Kaynov V.M., Kaziyev G.D. *Avtomatika, telemekhanika, svyaz i vychislitel'naya tekhnika na zheleznykh dorogakh Rossii* [Automation, Remote Control, communications and computing equipment on Russian railways]. Moscow, NPF «Planeta» Publ., 2006. 736 p.
10. Fedotov A.Ye., Kochmarskaya O.K. *Tekhnicheskoye obsluzhivaniye tsentralizovannykh strelok* [Centralized turnout maintenance]. Moscow, Transport Publ., 1988. 288 p.
11. Chaparro Luis F. *Signals and Systems Using MATLAB*. Department of Electrical and Computer Engineering University of Pittsburgh. Oxford, Elsevier Publ., 2011. 752 p. doi: 10.1016/b978-0-12-394812-0.00014-0.
12. Corinthios Michael. *Signals, Systems, Transforms, and Digital Signal Processing with MATLAB*. Boca Raton, CRC Press Taylor & Francis Group Publ., 2009. 1316 p.
13. Leis John William. *Digital Signal Processing Using MATLAB for Students and Researchers*. University of Southern Queensland. New Jersey, John Wiley & Sons Publ., 2011. 382 p. doi: 10.1002/9781118033623.

Статья рекомендована к публикации д.физ.-мат.н., проф. В. И. Гаврилюком (Украина); д. физ.-мат. н., проф. А. В. Коваленко (Украина)

Поступила в редколлегию: 15.03.2014

Принята к печати: 05.05.2014

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК [502.3:504.5]:614.8

Н. Н. БЕЛЯЕВ^{1*}, Н. В. РОСТОЧИЛО², Ф. В. НЕДОПЁКИН³

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

²Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 09, эл. почта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-9811-867X

³Каф. «Физика неравновесных процессов, метрологии и экологии», Донецкий национальный университет, ул. Университетская, 24, Донецк, Украина, 83000, эл. почта f.nedopekin@donnu.edu.ua, ORCID 0000-0003-0717-3994

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ (SHELTER IN-PLACE) С УЧЕТОМ СОРБЦИИ ОПАСНОГО ВЕЩЕСТВА НА ПОВЕРХНОСТЯХ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель. Химически опасные объекты, где используются, производятся, хранятся токсичные вещества, а также магистрали, по которым осуществляется транспортировка опасных грузов, представляют собой потенциальные источники аварийного загрязнения атмосферы. В исследовании необходимо осуществить разработку прикладной численной модели для расчета эффективности локальной защиты здания от попадания в него опасных веществ путем применения воздушной завесы и сорбции/десорбции опасного вещества на поверхностях внутри здания. **Методика.** Для решения гидродинамической задачи взаимодействия воздушной завесы с ветровым потоком и с учетом влияния здания на этот процесс используется модель идеальной жидкости. Для расчета процесса переноса опасного вещества в атмосфере применяется уравнение конвективно-диффузионного переноса примеси. Для расчета процесса загрязнения воздушной среды внутри помещений при затекании в них загрязненного атмосферного воздуха используется модель Karisson & Huber. Данная модель учитывает сорбцию опасного вещества на различных поверхностях внутри помещения. Для численного интегрирования уравнений модели используются разностные методы. **Результаты.** В работе построена эффективная численная модель оценки эффективности защиты зданий от попадания в них опасных веществ путем применения воздушной завесы. На основе построенной модели проведен вычислительный эксперимент по оценке эффективности данного метода защиты при варьировании места расположения воздушной завесы относительно здания. **Научная новизна.** Создана численная модель, позволяющая оперативно рассчитать эффективность применения воздушной завесы для снижения инфильтрации загрязненного наружного воздуха в помещение. **Практическая значимость.** Разработанная численная модель может быть использована для проектирования локальной защиты зданий от попадания в них опасных веществ.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы; локальная защита зданий; воздушная завеса; инфильтрация опасных веществ в помещении

Введение

Химически опасные объекты, где используются, производятся, хранятся токсичные вещества, а также магистрали, по которым осуществ-

ляется транспортировка опасных грузов, представляют собой потенциальные источники аварийного загрязнения атмосферы. В случае чрезвычайной ситуации на таких объектах возможно быстрое поступление опасных веществ в ат-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

мосферу и дальнейший их перенос под действием ветра и атмосферной диффузии. Кроме этого опасное загрязнение атмосферного воздуха может произойти при терактах и при применении химического оружия (Сирия, август 2013г.). Все это создает угрозу токсичного поражения людей, попавших в зону влияния источника эмиссии. Поэтому, одной из проблем в области экологической и промышленной безопасности является решение двух важных задач при таких ситуациях: прогноз уровня загрязнения атмосферы с целью определения зон поражения [1, 2, 4, 8, 10–13, 17] и разработка мер по защите людей от токсического поражения. В Украине, как правило, основными методами для защиты населения являются эвакуация, применение специальных укрытий и индивидуальных средств защиты. Этот комплекс мер имеет свои особенности. Индивидуальные средства защиты не всегда могут быть «под рукой», а специальные укрытия могут располагаться на расстоянии от сосредоточенного нахождения людей. При передвижении людей к укрытиям возникает, своего рода, местная эвакуация и маршрут эвакуации может попасть в зону загрязнения.

Эвакуация людей по заранее разработанным планам основывается на предварительном расчете возможных зон загрязнения и после получения такой прогнозной информации – определение безопасных маршрутов эвакуации и средств эвакуации. Здесь следует подчеркнуть, что эвакуация людей имеет следующие особенности:

1) маршруты эвакуации, которые определены на основе предварительного расчета зон загрязнения, могут быть не столь безопасны, как предполагается, поскольку зонирование местности выполняется с учетом некоторых «типичных» атмосферных условий для региона, а при реальной чрезвычайной ситуации метеосостояние могут оказаться совершенно другими;

2) даже если заранее определенный маршрут эвакуации является безопасным, то при изменении метеосостояния (направления ветра), этот маршрут может быть опасен;

3) кроме этого при эвакуации возможно возникновение «пробок», заторов на маршрутах передвижения и «неадекватное» поведение людей, попавших в сложную ситуацию без соответствующей психологической подготовки;

4) реализация эффективной, «согласованной» эвакуации требует проведения предварительной, большой работы и постоянной корректировки планов.

Перечисленные выше методы защиты не всегда могут быть эффективны. Это, в частности связано с тем, что в городах, как правило, люди находятся внутри зданий (жилых, административных, универмагах и т.п.) и поэтому организация быстрой эвакуации крайне затруднено. Как показывает зарубежный опыт [14–16, 18, 19], основанный не только на анализе чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах, но и терактах, в ряде случаев будет более эффективно обеспечить защиту людей от токсического поражения непосредственно в этих зданиях. Поэтому, в США, Евросоюзе активно стало разрабатываться научное направление, называемое «*shelter-in-place*». Это комплекс мер по защите людей от токсического поражения в зданиях (защита, рекомендуемая для применения в жилых зонах – «*residential districts*»). Суть такой защиты состоит в том, чтобы уменьшить инфильтрацию атмосферного воздуха, содержащего опасное вещество, внутрь зданий, помещений. Следует отметить, что анализ литературных источников не позволил, к сожалению, выявить в Украине научные публикации в рамках данного направления.

За рубежом направление «*shelter-in-place*» разрабатывается в нескольких аспектах, например: применение специальных фильтров в системах вентиляции и кондиционирования воздуха зданий, применение сорбционных материалов внутри помещений, создание в помещениях избыточного давления, чтобы минимизировать инфильтрацию наружного воздуха и т.д. Каждый из перечисленных методов имеет свои достоинства и недостатки, но задача каждого метода – минимизировать концентрацию опасного вещества внутри помещения [16, 18, 19]. Следует подчеркнуть, что для эффективной защиты необходимо использовать комплекс методов. Например, можно соединить мероприятия, проводимые внутри зданий с мероприятиями, организуемыми снаружи, цель которых – минимизировать величину поражающего фактора – концентрации там, где имеет место воздухозабор системы вентиляции здания. В этом случае внутрь здания, в помещения будет поступать воздух, содержащий меньшее количество ток-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

сичного вещества. Это направление можно назвать «наружной» локальной защитой зданий. Для организации такой защиты можно использовать создание воздушной завесы возле зданий путем использования воздуходувок и т.п. Струя воздуха создает гидродинамический барьер на пути мигрирующей в атмосфере зоны загрязнения и тем самым препятствует прохождению загрязнения на отдельном участке, где имеет место влияние воздушной струи. Для применения данного метода защиты необходимо предварительно выполнить определенные расчеты, с помощью которых выяснить зону влияния воздушной струи при конкретных метеоусловиях, размерах здания и т.д. Для решения такой многофакторной задачи необходимо применение специализированных математических моделей, поскольку применение метода физического моделирования требует существенных временных и материальных затрат. Кроме того, в ряде случаев, постановка физического эксперимента может быть просто невозможна.

Цель

Целью данной работы является разработка прикладной CFD модели расчета эффективности применения воздушной завесы для наружной локальной защиты зданий от проникновения в них опасных веществ.

Анализ публикаций. Анализ литературных источников показывает, что существует ограниченное количество работ, посвященных математическому решению проблемы локального снижения концентрации опасного вещества в атмосферном воздухе путем применения специальных средств. Так в работе [1] рассмотрено построение математической модели и ее применение для оценки эффективности использования воздушной завесы при миграции в атмосфере шлейфа или облака токсичного газа. Но построенная модель не может быть применена для оценки эффективности воздушной завесы в рамках рассматриваемого класса задач, т.к. не учитывает влияния зданий на процесс рассеивания опасного вещества в условиях применения такой защиты.

Постановка задачи. Рассматриваются миграции в атмосфере токсичного вещества, попавшего в нее при чрезвычайной ситуации. Будем считать, что произошел быстрый выброс в атмосферу CL_2 и в результате этого в атмо-

сфере движется облако данного вещества. Ставится задача – локально снизить концентрацию этого вещества возле наветренной стороны здания (рис. 1), чтобы уменьшить инфильтрацию загрязненного наружного воздуха внутрь помещений.

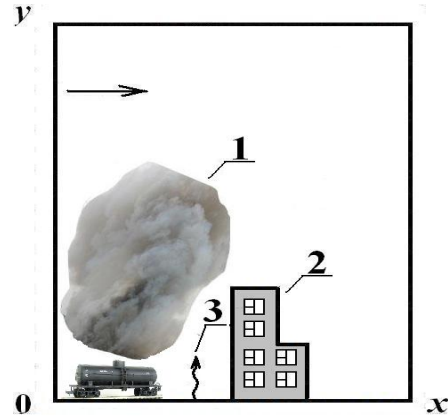


Рис. 1. Наружная локальная защита здания от загрязнения:

1 – облако токсичного вещества; 2 – здание;
3 – положение воздушной завесы (вдуваемой струи)

Fig. 1. External local contamination prevention:
1 – cloud of toxic agent; 2 – building; 3 – position of air screen (blown in air blast)

Методика

Для расчета концентрации опасного вещества в атмосфере используется осредненное по ширине переноса (профильная задача) уравнение транспорта загрязнителя [2, 3, 7, 11]

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

где C – концентрация примеси (опасное вещество); u , v – компоненты вектора скорости движения ветрового потока; w – скорость гравитационного оседания примеси; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты атмосферной диффузии; t – время.

Ось Y направлена вертикально вверх.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [2, 7, 11].

Для расчета коэффициентов атмосферной диффузии используются такие зависимости [3]

$$\mu_y = 0,11 y;$$

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

$$\mu_x = 0,2 u;$$

где u – скорость ветра, y – текущее значение высоты [3]. Профиль скорости ветра на входе в расчетную область рассчитывается по зависимости

$$u = u_1 \left(\frac{y}{y_1} \right)^n,$$

где u_1 – значение скорости ветра на некоторой фиксированной высоте y_1 , $n = 0,15$ – параметр [3].

Решение уравнения (1) можно получить, если известно поле скорости ветрового потока, которое формируется под влиянием застройки. Для расчета поля скорости ветрового потока используется модель потенциального течения [2]

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

где P – потенциал скорости. Граничные условия для данного уравнения рассмотрены в работе [2].

После расчета поля потенциала скорости компоненты вектора скорости потока определяются на основании соотношений

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

Полученное значение компонент вектора скорости потока используется для решения задачи рассеивания в атмосферном воздухе опасного вещества, с учетом влияния на этот процесс воздушной завесы.

Модель загрязнения воздушной среды внутри помещения. Атмосферный воздух, содержащий опасное вещество, попадает внутрь помещений в силу естественной инфильтрации, а также за счет работы системы вентиляции. Это приводит к загрязнению воздушной среды внутри помещений, что создает риск токсичного поражения людей, находящихся внутри них. Следует подчеркнуть, что в настоящее время тщательно изучается влияние процесса сорбции опасных веществ внутри помещений на поверхностях стен, мебели и т.п. Как известно, процесс сорбции способствует снижению концентрации опасного вещества в помещении. Поэтому при разработке моделей для оценки риска поражения людей внутри помещений

следует учитывать этот фактор. В данной работе процесс загрязнения воздушной среды в помещении, с учетом сорбции/десорбции опасного вещества на различных поверхностях в помещении, описывается моделью Karisson & Huber [18]

$$\frac{d(CV)}{dt} = Q_f C_{out} - Q_f C - \sum_i^N A_i \frac{dm_i}{dt}, \quad (3)$$

где C – концентрация опасного вещества в выходящем из помещения воздухе; V – объем комнаты; Q_f – интенсивность воздухообмена; N – количество сорбирующих материалов внутри помещения; C_{out} – концентрация токсичного вещества в приточном воздухе; A_i – площадь поверхности сорбирующих материалов; m_i – масса отсорбированного вещества.

Как известно, при применении модели (3) полагается, что концентрация загрязнителя в помещении равна C .

Для моделирования процесса сорбции опасного вещества на поверхности материала используется следующее уравнение [18]

$$\frac{dm_i}{dt} = a_i (C - C_i^*),$$

где C_i^* – концентрация опасного вещества на поверхности материала, отвечающая пределу насыщения; a_i – эмпирический коэффициент.

Для расчета величины C_i^* используется модель [18]

$$C_i^* = b_i m_i,$$

где b_i – эмпирический коэффициент.

Применение модели (3) дает возможность рассчитать динамику изменения концентрации опасного вещества внутри помещения с течением времени.

Численное интегрирование моделирующих уравнений. Численное интегрирование моделирующих уравнений осуществляется на прямоугольной разностной сетке. Формирование вида расчетной области (место расположения зданий) осуществляется с помощью технологии «rogosity technique» [1, 2, 11]. Кроме этого, данная технология используется для задания места положения воздушной завесы.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Для численного интегрирования уравнения (2) используется метод Либмана.

Для численного интегрирования уравнения (1) используется четырехшаговая попеременно-треугольная разностная схема расщепления [1, 11]. Для численного интегрирования уравнения (3) используется метод Эйлера.

Программная реализация модели (код InFLOW-2D). На основе построенной численной модели создан код, реализованный на алгоритмическом языке *FORTRAN*. В состав кода входят следующие подпрограммы:

- *RUF1* – расчет процесса переноса опасного вещества на первом и четвертом шаге расщепления попеременно – треугольной схемы;
- *RUF2* – расчет процесса переноса опасного вещества на втором и третьем шаге расщепления попеременно-треугольной схемы;
- *RFB* – реализация граничных условий для уравнения транспорта опасного вещества в атмосфере;
- *RFF* – решение уравнения для потенциала скорости;
- *RWFF* – реализация граничных условий уравнения для потенциала скорости;
- *RFP* – расчет поля скорости воздушного потока в расчетной области;
- *ROOM* – численное решение уравнения (3);
- *RPE* – печать результатов расчета;
- *RFW.dat* – файл исходных данных.

Алгоритм расчета. Основные этапы расчета на базе построенной CFD модели состоят в следующем:

1. Вводится исходная информация, определяющая физическую постановку моделируемого процесса (скорость ветра, положение здания, его размеры, положение воздушной завесы и т.п.).
2. Осуществляется решение уравнения для потенциала скорости и рассчитывается поле скорости воздушного потока.
3. Осуществляется решение уравнения транспорта токсичного вещества в атмосфере и определяется его концентрация в расчетной области в различные моменты времени.
4. Осуществляется решение уравнения (3) и определяется концентрация токсичного вещества в помещении в различные моменты времени и масса вещества, отсорбированного на поверхностях.
5. Осуществляется печать поля концентрации токсичного вещества в расчетной области,

на месте расположения рецептора и внутри помещения для данного момента времени.

Исходные данные для модели. Для моделирования рассматриваемого процесса необходимо задать следующую входную информацию:

- 1) параметры метеоситуации;
- 2) положение зданий и их форму;
- 3) положение места размещения воздушной завесы, создающей воздушную завесу; скорость вдува и ширина участка вдува;
- 4) координаты рецептора;
- 5) концентрацию токсичного вещества в облаке;
- 6) объем помещения, площадь сорбирующих поверхностей, расход воздуха Q , подаваемый для вентиляции помещения, параметры сорбции a_i, b_i .

Очень важно отметить, что концентрация C_{out} в воздухе, поступающем внутрь помещения (см. уравнение 3) – не задается, а определяется в процессе расчета. Для этого, при проведении вычислительного эксперимента, задаются координаты точки расположения воздухозаборника системы вентиляции или положение окна, через которое происходит инфильтрация загрязненного атмосферного воздуха. Далее осуществляется расчет значения концентрации опасного вещества в данной точке для каждого момента времени и тем самым определяется концентрация вещества в поступающем в помещение воздухе. Таким образом, например в отличие от работы [15], здесь рассматривается решение сопряженной задачи «загрязнение атмосферы + загрязнение воздуха в помещении с учетом процессов сорбции опасного вещества на поверхностях внутри помещения».

Практическая реализация CFD модели. Разработанная модель была использована для решения следующей задачи. Рассматривается миграция в атмосферном воздухе облака опасного вещества (Cl_2), поступившего в атмосферу вследствие чрезвычайной ситуации. При миграции опасного вещества происходит инфильтрация его внутрь помещений здания, расположенного на пути следования облака (рис. 1). Для локальной защиты здания применяется воздушная завеса. Необходимо исследовать эффективность применения воздушной завесы для конкретных условий задачи.

Расчет выполнен при следующих исходных данных. Высота здания – 15 м, высота при-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

стройки на подветренной стороне здания – 7,5 м, ширина здания 18 м. Скорость невозмущенного ветрового потока – 3 м/с (скорость потока на высоте u_1); концентрация токсичного вещества в облаке в начальный момент времени равна 1 г/м^3 . Размеры расчетной области $100 \text{ м} \times 42 \text{ м}$; объем помещения $V = 65 \text{ м}^3$; площадь сорбирующих поверхностей внутри помещения $A = 110 \text{ м}^2$; расход воздуха, подаваемый для вентиляции помещения $Q_f = 0,072 \text{ м}^3/\text{с}$; $a = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$; $b = 0,033 \text{ м}^{-1}$ [18]. Вертикальная воздушная струя выходит из воздуходувки со скоростью 10 м/с и располагается на расстоянии 4,5 м от наветренной стороны здания.

Требуется определить, какой будет концентрация опасного вещества в помещениях здания при отсутствии воздушной завесы и при ее работе. Рассматриваются два помещения – одно располагается на первом этаже. Координаты воздухозаборника для этого помещения равны $x = 34,5 \text{ м}$, $y = 3,75 \text{ м}$. Второе помещение находится на четвертом этаже. Координаты воздухозаборника для этого помещения равны $x = 34,5 \text{ м}$; $y = 11,25 \text{ м}$. На приведенных ниже рисунках положение воздухозаборников условно показаны «кружком» (рис. 3).

Результаты

Рассмотрим результаты моделирования, полученные на базе разработанной CFD модели. На приведенных ниже рисунках представлено распределение концентрации опасного вещества в расчетной области для случая, когда отсутствует воздушная завеса и при ее работе.

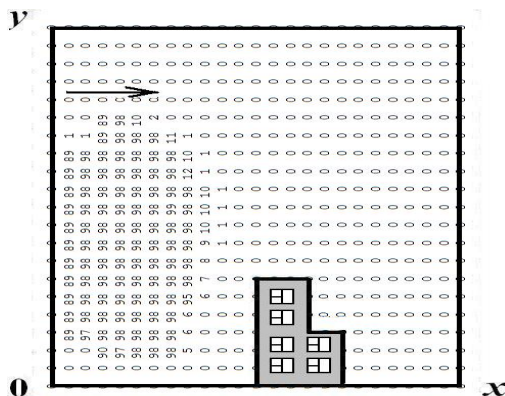


Рис. 2. Распределение концентрации опасного вещества при отсутствии воздушной завесы, $t = 0,1 \text{ с}$

Fig. 2. Concentration distribution of the dangerous material without air screen, $t = 0.1 \text{ sec}$

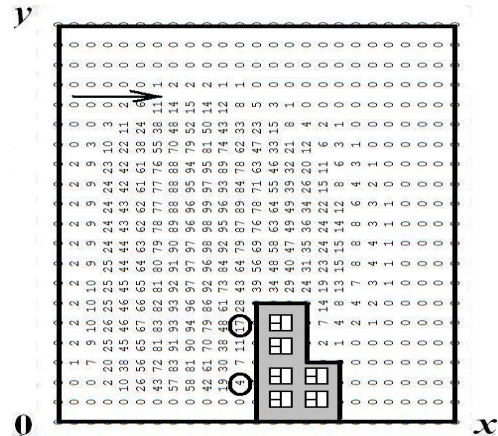


Рис. 3. Распределение концентрации опасного вещества при отсутствии воздушной завесы, $t = 4,09 \text{ с}$ (O – точка расположения рецептора)

Fig. 3. Concentration distribution of the dangerous material without air screen, $t = 4.09 \text{ sec}$ (O – is the receptor point)

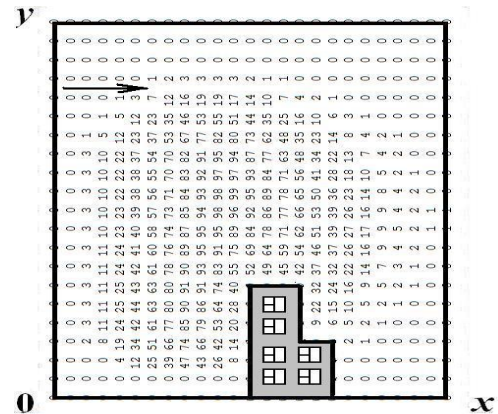


Рис. 4. Распределение концентрации опасного вещества при отсутствии воздушной завесы, $t = 5,49 \text{ с}$

Fig. 4. Concentration distribution of the dangerous material without air screen, $t = 5.49 \text{ sec}$

На данных рисунках поле концентрации представлено в виде матрицы, что позволяет быстро определять наиболее загрязненные подзоны и, что особенно важно – в области расположения рецептора. Каждое число на этих рисунках – это величина концентрации в процентах от величины максимальной концентрации на данный момент времени. Печать осуществляется по формату «целое число», например, если значение концентрации составляет 1,56 %, то на печать выдается «1».

Из представленных рисунков видно, что с течением времени происходит натекание облака опасного вещества на здание и формиру-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

ється зона загрози зараженню навколо всього будинку. Це означає, що через вікна, отвори вентиляції небезпечна речовина з атмосферним повітрям потрапляє всередину будинку і створює загрозу отруєння людей в приміщенні.

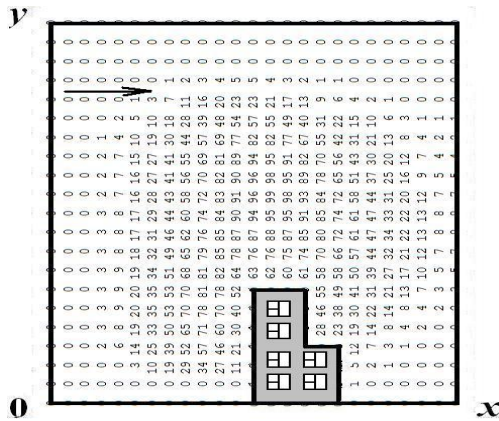


Рис. 5. Распределение концентрации опасного вещества при отсутствии воздушной завесы, $t = 7,39$ с

Fig. 5. Concentration distribution of the dangerous material without air screen, $t = 7.39$ sec

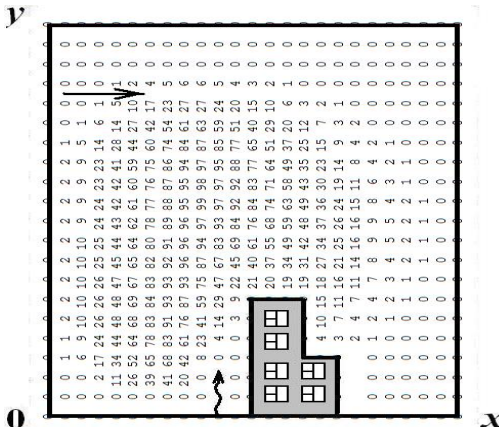


Рис. 6. Зона загрози зараженню для моменту часу $t = 4,09$ с (воздушная завеса на расстоянии 4,5 м от здания, скорость воздушной струи 10 м/с)

Fig. 6. Pollution area for the time point $t = 4.09$ sec (air screen on the distance 4.5 m. from the building, speed of the air blast 10 m/sec)

На наступних рисунках представлена зона загрози зараженню для ситуації, коли створена повітряна завіса біля навітряної сторони будинку.

Із представлених рисунків видно, що наявність повітряної завіси змінює розподіл концентрації токсичної речовини біля навітряної сторони будинку, т.е. локально,

і призводить до її зниження (наприклад, порівняйте рис. 8 і 5).

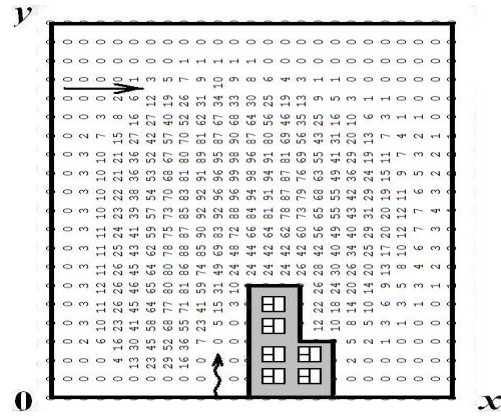


Рис. 7. Зона загрози зараженню для моменту часу $t = 5,49$ с (воздушная завеса на расстоянии 4,5 м от здания, скорость воздушной струи 10 м/с)

Fig. 7. Pollution area for the time point $t = 5.49$ sec (air screen on the distance 4.5 m. from the building, speed of the air blast 10 m/sec)

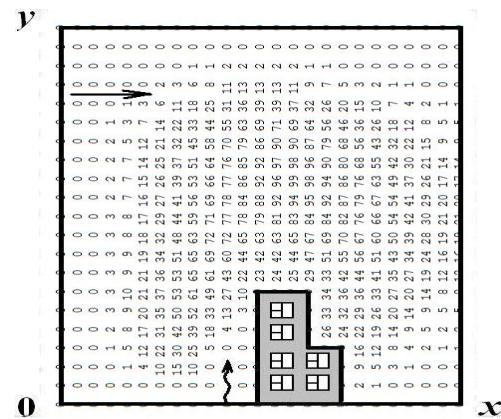


Рис. 8. Зона загрози зараженню для моменту часу $t = 7,39$ с (воздушная завеса на расстоянии 4,5 м от здания, скорость воздушной струи 10 м/с)

Fig. 7. Pollution area for the time point $t = 7.39$ sec (air screen on the distance 4.5 m. from the building, speed of the air blast 10 m/sec)

Для оцінки ефективності застосування повітряної завіси для захисту людей, що знаходяться всередині приміщень, виконано розрахунок концентрації небезпечної речовини в обох приміщеннях для випадку, коли відсутня повітряна завіса і при її роботі. Розрахунок виконано на основі моделі (3). Дані розрахунку представлені в табл. 1–4. Тут також представлені дані відносно кількості небезпечної речовини, отруєної всередині приміщень.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Таблица 1

Значение концентрации опасного вещества внутри помещения и масса вещества, отсорбированного на поверхностях (помещение на верхнем этаже, нет воздушной завесы)

Table 1

Concentration value of the dangerous material inside the building and the mass of the material, occluded on the surfaces (room on the upper floor, without air screen)

Время, с	Концентрация в помещении, г/м ³	Масса вещества, отсорбированного на поверхностях внутри помещения, г
1,9	0,0010	0
9,7	0,064	0,3·10 ⁻⁴
10,4	0,071	0,4·10 ⁻⁴
10,9	0,075	0,4·10 ⁻⁴
11,4	0,080	0,5·10 ⁻⁴
12,4	0,086	0,6·10 ⁻⁴

Таблица 2

Значение концентрации опасного вещества внутри помещения и масса вещества, отсорбированного на поверхностях (помещение на нижнем этаже, нет воздушной завесы)

Table 2

Concentration value of the dangerous material inside the building and the mass of the material, occluded on the surfaces (room on the ground floor, without air screen)

Время, с	Концентрация в помещении, г/м ³	Масса вещества, отсорбированного на поверхностях внутри помещения, г
1,9	0,0001	0
9,7	0,0177	0,1·10 ⁻⁴
10,4	0,0197	0,1·10 ⁻⁴
10,9	0,0210	0,1·10 ⁻⁴
11,4	0,0222	0,1·10 ⁻⁴
12,4	0,0243	0,2·10 ⁻⁴

Как видно из данных таблиц, применение воздушной завесы позволяет существенно снизить концентрацию опасного вещества в помещениях. Так в помещении, расположенном на

верхнем этаже при применении воздушной завесы (момент времени 12,4 с), концентрация опасного вещества в помещении снизилась почти в 12 раз по сравнению с вариантом, когда нет воздушной завесы. Для помещения, расположенного на первом этаже, применение воздушной завесы позволило полностью приостановить поступление опасного вещества в помещение.

Таблица 3

Значение концентрации опасного вещества внутри помещения и масса вещества, отсорбированного на поверхностях (помещение на верхнем этаже, создана воздушная завеса, скорость воздушной струи 10 м/с, завеса на расстоянии 4,5 м от здания)

Table 3

Concentration value of the dangerous material inside the building and the mass of the material, occluded on the surfaces (room on the upper floor, with air screen 10 m/sec, air screen on the 4.5 m distance from the building)

Время, с	Концентрация в помещении, г/м ³	Масса вещества, отсорбированного на поверхностях внутри помещения, г
1,9	0,0003	0
9,7	0,0064	0
10,4	0,0071	0
10,9	0,0072	0,1·10 ⁻⁴
11,4	0,0073	0,1·10 ⁻⁴
12,4	0,0074	0,1·10 ⁻⁴

Но для оценки риска токсичного поражения людей в помещениях проведем сравнение величины концентрации в помещении с ПДК. Для сравнения выберем ПДК для хлора 1 мг/м³ – для рабочей зоны. Это связано с тем, что данная ПДК максимальная по величине по сравнению с другими ПДК. Как видно из табл. 3, концентрация хлора в помещении на верхнем этаже превышает эту ПДК при создании воздушной завесы. Чтобы снизить концентрацию опасного вещества в помещении на верхнем этаже, разместим воздушную завесу ближе к зданию. На рис. 9 и 10 показана зона загрязнения для этого варианта задачи – воздушная струя создается на расстоянии 1,5 м от навет-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

ренной стороны здания, т.е. ближе к зданию по сравнению с предыдущим вариантом.

Таблица 4

Значение концентрации опасного вещества внутри помещения и масса вещества, отсорбированного на поверхностях (помещение на нижнем этаже, создана воздушная завеса, скорость воздушной струи 10 м/с, завеса на расстоянии 4,5 м от здания)

Table 4

Concentration value of the dangerous material inside the building and the mass of the material, occluded on the surfaces (room on the ground floor, with air screen 10 m/sec, air screen on the 4.5 m distance from the building)

Промежуток времени, с	Концентрация в помещении, г/м ³	Масса вещества, отсорбированного на поверхностях внутри помещения, г
1,9 – 12,5	0	0

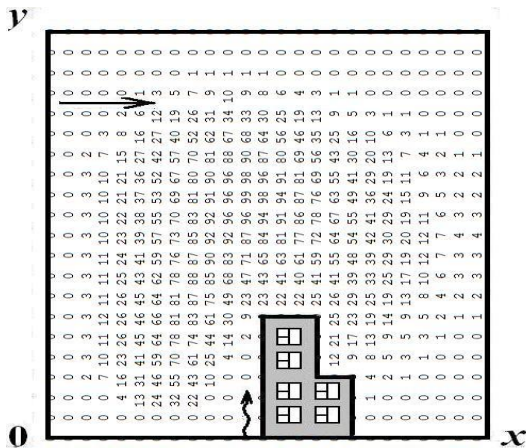


Рис. 9. Зона загрязнения для момента времени $t = 5,49$ с (воздушная завеса на расстоянии 1,5 м от здания, скорость воздушной струи 10 м/с)

Fig. 9. Pollution area for the time point $t = 5.49$ sec (air screen on the distance 1.5 m. from the building, speed of the air blast 10 m/sec)

Расположение воздушной завесы ближе к зданию позволяет больше снизить концентрацию в воздухе, поступающем в помещение на четвертом этаже. Это хорошо видно из табл. 5. Так для момента времени 12,4 с концентрация снизилась примерно на 27 %, но все таки она больше ПДК.

Теперь увеличим скорость воздушной среды до 15 м/с. Из рис. 11 видно, что увеличение

этого параметра еще больше приводит к снижению концентрации опасного вещества возле наветренной стороны здания.

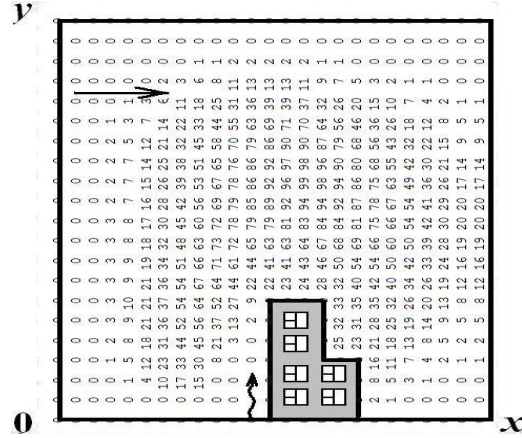


Рис. 10. Зона загрязнения для момента времени $t = 7,39$ с (воздушная завеса на расстоянии 1,5 м от здания, скорость воздушной струи 10 м/с)

Fig. 9. Pollution area for the time point $t = 7.39$ sec (air screen on the distance 1.5 m from the building, speed of the air blast 10 m/sec)

Таблица 5

Значение концентрации опасного вещества внутри помещения и масса вещества, отсорбированного на поверхностях (помещение на верхнем этаже, создана воздушная завеса на расстоянии 1,5 м от здания, скорость струи 10 м/с)

Table 5

Concentration value of the dangerous material inside the building and the mass of the material, occluded on the surfaces (room on the upper floor, with the air screen on the 1.5 m distance from the building, speed of the air blast 10 m/sec)

Время, с	Концентрация в помещении, г/м ³	Масса вещества, отсорбированного на поверхностях внутри помещения, г
1,9	0,0002	0
9,7	0,0049	0
10,4	0,0051	0
10,9	0,0052	0
11,4	0,0053	0
12,4	0,0054	0

В табл. 6 представлены данные, позволяющие оценить уровень снижения концентрации

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

опасного вещества внутри помещения на верхнем этаже для рассматриваемого сценария.

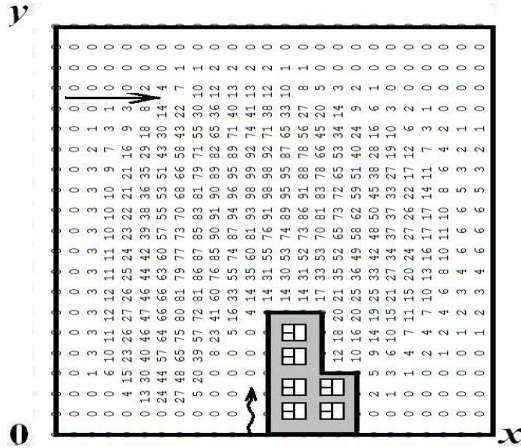


Рис. 11. Зона загрязнения для момента времени $t = 5,49$ с (воздушная завеса на расстоянии 1,5 м от здания, скорость воздушной струи 15 м/с)

Fig. 11. Pollution area for the time point $t = 7.39$ sec (air screen on the distance 1.5 m. from the building, speed of the air blast 15 m/sec)

Таблица 6

Значение концентрации опасного вещества внутри помещения и масса вещества, отсорбированного на поверхностях (помещение на верхнем этаже, создана воздушная завеса на расстоянии 1,5 м от здания, скорость струи 15 м/с)

Table 6

Concentration value of the dangerous material inside the building and the mass of the material, occluded on the surfaces (room on the upper floor, with the air screen on the 1.5 m distance from the building, speed of the air blast 15 m/sec)

Время, с	Концентрация в помещении, г/м ³	Масса вещества, отсорбированного на поверхностях внутри помещения, г
1,9	0,00014	0
9,7	0,00136	0
10,4	0,00139	0
10,9	0,00140	0
11,4	0,00141	0
12,4	0,00141	0

Из табл. 6 видно, что увеличение скорости воздушной струи привело к еще большему снижению уровня загрязнения воздушной сре-

ды в помещении на верхнем этаже – практически до безопасного уровня.

Данные вычислительного эксперимента также показывают, что интенсивность сорбции опасного вещества на поверхностях недостаточно высока при рассмотренных параметрах сорбции.

В заключение отметим, что расчет задачи на базе разработанной модели составляет порядка 10 с компьютерного времени.

Научная новизна и практическая значимость

Создана численная модель, позволяющая учесть влияние воздушной завесы на рассеивание загрязняющих веществ и, в тоже время, требующая небольших затрат компьютерного времени при практической реализации. Разработанная модель может быть использована при проектировании систем локальной защиты зданий от попадания в них опасных веществ. Особенностью построенной модели является использование стандартной исходной информации и быстрота в получении расчетных данных, что важно при проведении серийных расчетов.

Выводы

В работе представлена новая CFD модель для расчета эффективности применения воздушной завесы с целью наружной локальной защиты здания от попадания внутрь его загрязнения. Для решения гидродинамической задачи используется модель идеальной жидкости. Для расчета переноса опасного вещества в атмосфере используется модель Марчука Г. И. При практической реализации на ПК разработанной CFD модели требуются небольшие затраты компьютерного времени. Дальнейшее развитие данной тематики следует вести в направлении построения 3-D модели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беляев, Н. Н. Защита атмосферы от загрязнения при миграции токсичных веществ / Н. Н. Беляев, В. М. Лисняк. – Д. : ООО «Инновация», 2006. – 150 с.
2. Беляев, Н. Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций : монография

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

- / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. Б. Машихина. – Д. : «Акцент ПП», 2013. – 159 с.
3. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
 4. Гунько, Е. Ю. Оценка риска токсичного поражения людей при аварийном выбросе химически опасного вещества / Е. Ю. Гунько // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 20. – С. 87–90.
 5. Купаев, В. И. Методы локализации очага аварии и ликвидации ее последствий на химически опасных объектах железнодорожного транспорта / В. И. Купаев, С. В. Рассказов // Трансп. : наука, техника, управление. – 2003. – № 4. – С. 28–34.
 6. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М. : Наука, 1978. – 735 с.
 7. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – М. : Наука, 1982. – 320 с.
 8. Машихина, П. Б. Моделирование распространения примеси в атмосфере с учетом рельефа местности / П. Б. Машихина // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 27. – С. 138–142.
 9. Самарский, А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – М. : Наука, 1983. – 616 с.
 10. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К. : Наук. думка, 1997. – 368 с.
 11. Belayev, N. N. An engineering approach to simulate the 3-d wind flows over buildings / N. N. Belayev, V. K. Khrutch // Bluff Body Aerodynamics & Applications. Volume of Abstracts (11.09-14.09. 2000) : Proc. of the 4th Intern. Colloquium. – Bochum, Ruhr-Universitat, 2000. – P. 471–475.
 12. Belayev, N. N. Computer simulation of the pollutant dispersion among buildings / N. N. Belayev, M. I. Kazakevitch, V. K. Khrutch // Wind Engineering into 21st Century : Proc. of the 10th Intern. Conf. on Wind Engineering. – Copenhagen, 1999. – P. 1217–1220.
 13. Biliaiev, M. M. Numerical simulation of indoor air pollution and atmosphere pollution for regions having complex topography / M. M. Biliaiev, M. M. Kharytonov // SPS Intern. Tech. Meeting Air Pollution Modeling and its Application XXI (27.09-01.10.201) : Proc. of the 31st NATO. – Italy, 2012. – P. 87–91. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_15.
 14. Chester, C. V. Technical options for protecting civilians from toxic vapors and gases / C. V. Chester. – Washington : U.S. Department of Energy ORNL/TM-0423, 1988. – 50 p.
 15. Effectiveness of Urban Shelter-in-Place. II: Residential Districts [Электронный ресурс] / W. R. Chan, W. W. Nazaroff, P. N. Price, A. J. Gadgil. – 2008. – 31 p. – Режим доступа: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/928232>. – Загл. с экрана. doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.04.059.
 16. Modeling shelter-in-place including sorption on indoor surfaces : 84th American Meteorological Society Annual Meeting. Vol. PNFUZ Session 6.5 / Wanyu R. Chan, Philli N. Price, Ashok. J. Gadgil et al. – WA : American Meteorological Society, Boston, MA, 2004. – 9 p.
 17. Protecting buildings and their occupants from airborne hazards. U.S. / Army Corps of Engineers. Engineering and Construction Division. Directorate of Military Programs. – Washington : The Corps, 2001. – 25 p.
 18. Protecting buildings from a biological or chemical attack: actions to take before or during a release / Phillip N. Price, Michael D. Sohn, Ashok J. Gadgil et al. – Honolulu : University Press of the Pacific, 2004. – 52 p. doi: 10.2172/810539.
 19. Validation of numerical simulation system for gas diffusion in urban area [Электронный ресурс] / Ryohji Ohba, Akinori Kouchi, Tomohiro Hara et al. – 2009. – 8 p. – Режим доступа: http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/safety/pdflist/pdf/МНІ_09_2.pdf. – Загл. с экрана.

М. М. БІЛЯЄВ^{1*}, Н. В. РОСТОЧИЛО², Ф. В. НЕДОПЬОКІН³

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

²Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна. тел. +38 (056) 373 15 09, ел. пошта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-9811-867X

³Каф. «Фізика нерівноважних процесів, метрології та екології», Донецький національний університет, вул. Університетська, 24, Донецьк, Україна, 83000, ел. пошта f.nedopekin@donnu.edu.ua, ORCID 0000-0003-0717-3994

МОДЕЛЮВАННЯ ЛОКАЛЬНОГО ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ (SHELTER-IN-PLACE) ІЗ УРАХУВАННЯМ СОРБЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНОЇ РЕЧОВИНИ НА ПОВЕРХНЯХ УСЕРЕДИНІ ПРИМІЩЕНЬ

Мета. Хімічно небезпечні об'єкти, в яких використовуються, виробляються, зберігаються токсичні речовини, а також магістралі, якими здійснюється транспортування небезпечних вантажів, являють собою потенційні джерела аварійного забруднення атмосфери. У дослідженні необхідно здійснити розробку прикладної чисельної моделі для розрахунку ефективності локального захисту будівлі від потрапляння в неї небезпечних речовин шляхом застосування повітряної завіси. **Методика.** Для вирішення гідродинамічної задачі взаємодії повітряної завіси з вітровим потоком та з урахуванням впливу будівель на цей процес використовується модель ідеальної рідини. Для розрахунку процесу переносу небезпечної речовини в атмосфері використовується рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки. Для розрахунку процесу забруднення повітряного середовища всередині приміщень при втіканні в них забрудненого атмосферного повітря використовується модель Karisson & Huber. Дана модель враховує сорбцію небезпечної речовини на різних поверхнях всередині приміщень. Для чисельного інтегрування рівняння моделі використовуються різницеві схеми. **Результати.** У роботі побудовано ефективну чисельну модель оцінки ефективності захисту будівель від потрапляння в них небезпечних речовин шляхом використання повітряної завіси. На основі побудованої моделі проведено розрахунковий експеримент з оцінки ефективності даного методу захисту при варіюванні місця розташування повітряної завіси відносно будівлі. **Наукова новизна.** Побудовано чисельну модель, яка дозволяє оперативно розрахувати ефективність використання повітряної завіси для зниження інфільтрації забрудненого зовнішнього повітря в приміщення. **Практична значимість.** Розроблена чисельна модель може бути використана для проектування локального захисту будівель від потрапляння в них небезпечних речовин.

Ключові слова: забруднення атмосфери; локальний захист будівель; повітряна завіса; інфільтрація небезпечних речовин у приміщення

N. N. BELYAYEV^{1*}, N. V. ROSTOCHILO², F. V. NEDOPEKIN³

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

²Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 09, e-mail gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-9811-867X

³Dep. «Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology», Donetsk National University, Universitetskaya St., 24, Donetsk, Ukraine, 83000, e-mail f.nedopekin@donnu.edu.ua, ORCID 0000-0003-0717-3994

MODELING OF THE BUILDING LOCAL PROTECTION (SHELTER – IN PLACE) INCLUDING SORPTION OF THE HAZARDOUS CONTAMINANT ON INDOOR SURFACES

Purpose. Chemically hazardous objects, where toxic substances are used, manufactured and stored, and also main lines, on which the hazardous materials transportation is conducted, pose potential sources of atmosphere accidental pollution. Development of the CFD model for evaluating the efficiency of the building local protection from

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

hazardous substances ingress by using air curtain and sorption/desorption of hazardous substance on indoor surfaces. **Methodology.** To solve the problem of hydrodynamic interaction of the air curtain with wind flow and considering the building influence on this process the model of ideal fluid is used. In order to calculate the transfer process of the hazardous substance in the atmosphere an equation of convection-diffusion transport of impurities is applied. To calculate the process of indoors air pollution under leaking of foul air Karisson & Huber model is used. This model takes into account the sorption of the hazardous substance at various indoors surfaces. For the numerical integration of the model equations differential methods are used. **Findings.** In this paper we construct an efficient CFD model of evaluating the effectiveness of the buildings protection against ingress of hazardous substances through the use of an air curtain. On the basis of the built model a computational experiment to assess the effectiveness of this protection method under varying the location of the air curtain relative to the building was carried out. **Originality.** A new model was developed to compute the effectiveness of the air curtain supply to reduce the toxic chemical concentration inside the building. **Practical value.** The developed model can be used for design of the building local protection against ingress of hazardous substances.

Keyword: air pollution; local protection of buildings; air curtain; infiltration of hazardous substances in the rooms

REFERENCES

1. Belyayev N.N., Lisnyak V.M. *Zashchita atmosfery ot zagryazneniya pri migratsii toksichnykh veshchestv* [Protection of the atmosphere from contamination migration of toxic substances]. Dnipropetrovsk, OOO «Innovatsiya» Publ., 2006. 150 p.
2. Belyayev N.N., Gunko E.Yu. Mashykhina P.B. *Matematicheskoye modelirovaniye v zadachakh ekologicheskoy bezopasnosti i monitoringa chrezvychaynykh situatsiy* [Mathematical modeling in problems of environmental safety and emergency monitoring]. Dnipropetrovsk, «Aktsept PP» Publ., 2013. 159 p.
3. Berlyand M. Ye. *Prognoz i regulirovaniye zagryazneniya atmosfery* [Prediction and control of air pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985. 273 p.
4. Gunko Ye.Yu. Otsenka riska toksichnogo porazheniya lyudey pri avariynom vybrose khimicheskii opasnogo veshchestva [Risk assessment of toxic shock to persons under the accidental release of the chemically dangerous substances]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 20, pp. 87-90.
5. Kupayev V.I., Rasskazov S.V. Metody lokalizatsii ochaga avarii i likvidatsii yeye posledstviy na khimicheskii opasnykh ob'ektakh zheleznodorozhnogo transporta [Methods for localization of the accident and elimination of its consequences on the chemically hazardous facilities of railway transport]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye – Transport: Science, Techniques, Management*, 2003, no. 4, pp. 28-34.
6. Loytsyanskiy L.G. *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Mechanics of fluid and gas]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 735 p.
7. Marchuk G.I. *Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushchey srede* [Mathematical modeling in the environmental problem]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 320 p.
8. Mashykhina P.B. Modelirovaniye rasprostraneniya primesi v atmosfere s uchetom relefa mestnosti [Simulation of the distribution impurity in the atmosphere in view of the terrain]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 27, pp. 138-142.
9. Samarskiy A.A. *Teoriya raznostnykh skhem* [Theory of difference schemes]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 616 p.
10. Zgurovskiy M.Z., Skopetskiy V.V., Khrushch V.K., Belyayev N.N. *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical simulation of the spread of contamination in the environment]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1997. 368 p.
11. Belayev N.N., Khrutch V.K. An engineering approach to simulate the 3-d wind flows over buildings. Proc. of the Fourth Intern. Colloquium on Bluff Body Aerodynamics&Applications, Ruhr-Universitat. Volume of Abstracts. Bochum, 2000, pp. 471-475.
12. Belayev N.N., Kazakevitch M.I., Khrutch V.K. Computer simulation of the pollutant dispersion among buildings. Proc. of the Tenth Intern. Conf. on Wind Engineering «Wind Engineering into 21st Century». Copenhagen, 1999, pp. 1217-1220.
13. Biliaiev M. M., Kharytonov M.M. Numerical simulation of indoor air pollution and atmosphere pollution for regions having complex topography. SPS Intern. Tech. Meeting Air Pollution Modeling and its Application XXI. Italy, 2012, pp. 87-91. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_15.
14. Chester C.V. Technical options for protecting civilians from toxic vapors and gases. Washington, Department of Energy ORNL/TM-0423 Publ., 1988. 50 p.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

15. Chan W.R., Nazaroff W.W., Price P.N., Gadgil A.J. Effectiveness of Urban Shelter-in-Place. II: Residential Districts, 2008. 31 p. Available at: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/928232> (Accessed 29 March 2014). doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.04.059.
16. Chan R. Wanyu, Price N. Philli, Gadgil. J. Ashok. 84th American Meteorological Society Annual Meeting «Modeling shelter-in-place including sorption on indoor surfaces». Boston, vol. PNFUZ Session 6.5, 2004, pp. 9.
17. Protecting buildings and their occupants from airborne hazards. Washington, The Corps Publ., 2001. 25 p.
18. Price N. Phillip, Sohn D. Michael, Gadgil J. Ashok. Protecting buildings from a biological or chemical attack: actions to take before or during a release. Honolulu, University Press of the Pacific Publ., 2004. 52 p. doi: 10.2172/810539.
19. Ohba Ryohji, Kouchi Akinori, Hara Tomohiro, Yoneda Jiro, Kato Shinsuke. Validation of numerical simulation system for gas diffusion in urban area, 2009. 8 p. Available at: http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/safety/pdflist/pdf/MHI_09_2.pdf (Accessed 29 March 2014).

Статья рекомендована к публикации д.физ.-мат.н., проф. С. А. Пичуговым (Украина); д.физ.-мат.н., проф. О. Г. Гоманом (Украина)

Поступила в редколлегию: 03.04.2014

Принята к печати: 23.05.2014

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 657.6

В. Д. ЗЕЛІКМАН¹, Ю. А. СОНІНА^{1*}

¹Каф. «Облік і аудит», Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 47 44 51, ел. пошта zelikman@mail.ru, ORCID 0000-0002-5623-3845

^{1*}Каф. «Облік і аудит», Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 47 44 51, ел. пошта kaf.ua@metal.nmetau.edu.ua, ORCID 0000-0002-0146-5905

НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛІКУ ТА ВНУТРІШНЬОГО АУДИТУ ДЕБІТОРСЬКОЇ ЗАБОРГОВАНOSTІ ПІДПРИЄМСТВ

Мета. У науковому дослідженні необхідно здійснити виявлення та обґрунтування напрямів удосконалення обліку та внутрішнього аудиту дебіторської заборгованості підприємств. **Методика.** Розглянуто основні принципи й напрями покращення системи обліку та внутрішнього аудиту, які мають допомогти підприємствам України оптимізувати дебіторську заборгованість. **Результати.** Обґрунтовано, що оптимізація дебіторської заборгованості можлива на основі удосконалення її обліку та внутрішнього аудиту. Визначено основні шляхи удосконалення обліку та внутрішнього аудиту дебіторської заборгованості, до яких відносяться: удосконалення нормативного забезпечення обліку дебіторської заборгованості на підприємстві; здійснення подальшої гармонізації бухгалтерського та податкового обліку в частині формування резерву сумнівних боргів, обліку сумнівної та безнадійної дебіторської заборгованості і ін.; створення відділу внутрішнього аудиту для контролю за сумнівною та безнадійною заборгованістю; забезпечення своєчасного контролю співвідношення дебіторської та кредиторської заборгованості; визначення та підтримка оптимального розміру дебіторської заборгованості підприємства. **Наукова новизна.** Новизна полягає в удосконаленні обліку та внутрішнього аудиту дебіторської заборгованості підприємств за рахунок розвитку системи внутрішнього аудиту та оптимізації розміру дебіторської заборгованості. **Практична значимість.** Запропоновані рекомендації дозволять поліпшити систему обліку та внутрішнього аудиту дебіторської заборгованості на підприємствах України.

Ключові слова: дебіторська заборгованість; платіжно-розрахункові відносини; суб'єкти господарювання; бухгалтерський облік; система внутрішнього аудиту; аналітичні процедури; аудиторські докази

Вступ

У сучасних ринкових умовах питання обліку та аудиту дебіторської заборгованості є досить важливим для підприємств, оскільки часто контрагенти не відповідально ставляться до виконання платіжних зобов'язань перед своїми партнерами. Проблема неплатежів зумовлює актуальність дослідження методики та організації обліку дебіторської заборгованості для вітчизняних підприємств.

Фінансова стабільність підприємства значною мірою залежить від ефективності системи розрахунків з дебіторами. Наявність дебіторсь-

кої заборгованості призводить до вилучення коштів з обороту, що перешкоджає успішній діяльності будь-якого підприємства. Ситуація погіршується ще й незадовільною організацією обліку та внутрішнього контролю за виконанням договірних зобов'язань. За таких умов керівництву досить складно прийняти раціональні управлінські рішення [1].

Теоретичні дослідження обліку та аудиту дебіторської заборгованості свідчать про недостатнє вивчення цього питання, що спричинює викривлення інформації про стан розрахунків та фінансовий стан підприємства в цілому. Зна-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

чний внесок у розгляд проблем теорії та практики обліку й аудиту дебіторської заборгованості зробили вітчизняні та закордонні дослідники: Ф. Ф. Бутинець, Б. Ф. Усач, І. О. Бланк, В. В. Собко, В. П. Суйц, А. Д. Шеремет, Г. М. Давидов, Л. О. Кадуріна, Л. П. Кулаковська, В. Я. Савченко, Н. І. Дорош, В. С. Рудницький, О. А. Петрик, С. Л. Береза, М. Д. Білик, В. В. Вітлінський, Д. І. Коваленко, К. Г. Заров, М. М. Нашкерська, І. М. Боярко, В. А. Волнін, Л. А. Костирко, Н. М. Новікова, Л. В. Таратута, Т. С. Єдинак, І. О. Власова, В. П. Козлов, В. П. Савчук, О. Сліпачук, В. І. Скіцько, Е. Аренс, Р. А. Адамс, Б. Едвардс та інші.

У ході аналізу вітчизняних літературних джерел було виявлено, що до кінця 90-х років минулого століття питання аудиту дебіторської заборгованості порушувалося дуже рідко. В умовах планової економіки воно з об'єктивних на той час причин не було актуальним. На початкових же етапах становлення ринкової економіки теоретичні положення аудиту дебіторської заборгованості підприємств стали потребувати узагальнення та уточнення [3].

У зв'язку з цим зростає необхідність удосконалити облік і внутрішній аудит дебіторської заборгованості підприємства.

Мета

Метою цього дослідження є виявлення та обґрунтування напрямів удосконалення обліку і внутрішнього аудиту дебіторської заборгованості підприємств.

Методика

Розглянуті основні принципи та напрями покращення системи обліку та внутрішнього аудиту, які мають допомогти підприємствам України оптимізувати дебіторську заборгованість.

Результати

Платіжно-розрахункові відносини із суб'єктами господарювання потребують ефективної системи обліку й аудиту на підприємстві. Саме вона забезпечує керівництво достовірною та своєчасною інформацією про стан дебіторської заборгованості, наявність «слабких» місць і можливі шляхи їх усунення [2]. Бухгалтер підприємства повинен ретельно перевіряти факти здійснення господарських операцій, внаслідок яких

виникла така заборгованість, їх законність та правильність відображення в обліку [4].

Одним з найбільш проблемних моментів у бухгалтерському обліку дебіторської заборгованості є нормативне забезпечення обліку дебіторської заборгованості на підприємстві. Рекомендована форма бухгалтерського обліку цього об'єкта та облікові реєстри не дають можливості отримати необхідну інформацію для прийняття зважених управлінських рішень у задовільному вигляді [12].

Для здійснення достовірного аналізу заборгованості з метою її оптимізації облікові реєстри мають накопичувати інформацію про розрахунки з дебіторами з певною деталізацією та узагальненням даних. Також в обліку недостатньо деталізуються та співвідносяться різні види дебіторської заборгованості в загальній їх структурі [8].

Незважаючи на набуття чинності Податкового кодексу України (ПКУ) [9], досі існує багато суперечностей між бухгалтерським та податковим обліком у порядку формування резерву сумнівних боргів, обліку сумнівної та безнадійної дебіторської заборгованості та ін.

У системі внутрішнього аудиту дебіторської заборгованості також існують певні питання, які потребують вирішення.

Як відомо, метою аудиту дебіторської заборгованості є отримання достатніх доказів, які підтверджують достовірність, реальність дебіторської заборгованості, відображеної у фінансових звітах. З урахуванням цього до основних завдань аудиту дебіторської заборгованості можна віднести:

1) перевірку дотримання методологічних принципів формування інформації про дебіторську заборгованість у бухгалтерському обліку та її розкриття у фінансовій звітності відповідно до П(С)БО 10 «Дебіторська заборгованість» [10], що передбачає перевірку:

- визнання дебіторської заборгованості активом;
- первісної оцінки та оцінки на дату балансу;
- визначення методу створення резерву сумнівних боргів;
- нарахування суми резерву сумнівних боргів;
- виключення безнадійної дебіторської заборгованості з активів;
- розкриття інформації про дебіторську заборгованість у примітках до фінансової звітності;

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

2) встановлення реальності дебіторської заборгованості;

3) перевірку класифікації дебіторської заборгованості;

4) оцінку синтетичного та аналітичного обліку;

5) перевірку правильності відображення господарських операцій з дебіторською заборгованістю на рахунках обліку;

6) перевірку правильності списання безнадійної дебіторської заборгованості;

7) визначення показників, які характеризують стан дебіторської заборгованості, їх узгодженість та порівнянність.

Слід зазначити, що на сьогодні немає типової програми аудиту, яка б відповідала сучасним вимогам якісного проведення аудиту дебіторської заборгованості.

Як правило, програма включає тільки перелік аудиторських процедур, які необхідно здійснити, виконавця, термін перевірки та індекс робочого документа. Програма аудиту дебіторської заборгованості повинна містити: мету аудиторської процедури (якість, яка підтверджується), завдання, аудиторські докази, методи аудиту, термін виконання аудиторської процедури, індекс робочого документа [5].

Перевірка дебіторської заборгованості повинна виконуватися за класифікаційними групами дебіторської заборгованості. Час проведення перевірки в аудитора обмежений, тому немає ані можливості, ані потреби перевіряти усі операції з обліку дебіторської заборгованості, а, отже, кількість аудиторських процедур повинна бути оптимальною. Результати аудиторських процедур відображаються в робочих документах аудитора, інформація яких повинна свідчити про якість аудиторської процедури та слугувати доказом виявлених порушень.

Складним питанням в аудиті дебіторської заборгованості є встановлення необхідного рівня коштів, які вилучаються на дебіторську заборгованість, а також визначення впливу величини дебіторської заборгованості на фінансовий стан підприємства [6].

Для вирішення цього питання потрібно:

1) визначити оптимальний розмір дебіторської заборгованості, яка б не створювала перешкод для можливості забезпечення безперебійного процесу постачання, виробництва, реалізації та розрахунків підприємства за своїми зобов'язаннями;

2) встановити раціональне співвідношення між дебіторською та кредиторською заборгованістю для прискорення оборотності цих двох показників;

3) систематично проводити інвентаризацію заборгованості шляхом перевірки первинних документів, які є основою для виконання розрахунків та відображення операцій в обліку, а також шляхом звірки залишків з контрагентами.

Особливу увагу слід звернути на те, що кожна операція повинна бути санкціонованою та законною [7]. Дані контрольних процедур дозволяють розподілити дебіторську заборгованість, залежно від строків її погашення, на нормальну, прострочену та безнадійну. У свою чергу, отримані відомості дають можливість вжити заходи стосовно простроченої заборгованості, а саме: враховуючи вимоги законодавства та договорів, можна розпочати претензійну роботу, застосувати економічні санкції (нарахування штрафів, пені, неустойки) та інші [7].

Не менш проблематичним є питання ефективного контролю за своєчасним стягненням сум з дебіторів з метою запобігання зростанню простроченої дебіторської заборгованості. Для цього підприємство має створити відділ внутрішнього аудиту, головним завданням якого є здійснення контролю за проблемною дебіторською заборгованістю.

На нашу думку, на кожному підприємстві доцільно розробити й затвердити Положення про аудиторську комісію. У ньому слід передбачити порядок формування аудиторської комісії, кваліфікаційні вимоги, порядок здійснення аудиторської перевірки, у тому числі розрахунків, права членів аудиторської комісії, їх відповідальність тощо. Крім того, доцільним є розробка посадової інструкції члена аудиторської комісії, яка б визначала обов'язки та відповідальність членів постійно діючих та робочих комісій. Важливим в організації ефективної системи внутрішнього аудиту розрахунків з контрагентами є забезпечення надійності збереження інформації від сторонніх осіб, зокрема перевірка системи зберігання документації, функціонування архівної служби, порядку інвентаризації документів у архіві й забезпечення доступу до документів тощо [11].

Одним з головних аспектів внутрішнього аудиту дебіторської заборгованості є перевірка її юридичного оформлення та обґрунтування.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Для здійснення процесу придбання та реалізації підприємство вступає з іншими учасниками ринку в економічні відносини, правовою основою яких є укладання договорів. Процес договірної роботи регулюється на рівні підприємства (мікрорівні) і на рівні держави через законодавчі акти (макрорівень) [13].

Завдання, які постають у процесі здійснення контролю договірних процесів, полягають у перевірці, по-перше, відповідності змісту договорів нормативно-правовій базі України, та, по-друге, формалізації процесу укладання договорів, тобто з'ясуванню, чи враховані в договорі всі важливі аспекти та чи вказані всі обов'язкові реквізити (строки, умови розрахунків, відповідальності за порушення договірних зобов'язань тощо). У питаннях, що стосуються дебіторської заборгованості, такий контроль дозволить підвищити ймовірність своєчасного погашення боргу і, відповідно, зменшити ризик перетворення дебіторської заборгованості в безнадійну, що, у свою чергу, має позитивно вплинути на діяльність підприємства та його фінансові показники [14].

Наукова новизна та практична значимість

Удосконалено облік та внутрішній аудит дебіторської заборгованості підприємств за рахунок розвитку системи внутрішнього аудиту та оптимізації розміру дебіторської заборгованості.

Запропоновані рекомендації дозволяють поліпшити систему обліку та внутрішнього аудиту дебіторської заборгованості на підприємствах України.

Висновки

Таким чином, удосконалення обліку та внутрішнього аудиту дебіторської заборгованості необхідно здійснювати у таких напрямках:

- удосконалення нормативного забезпечення обліку дебіторської заборгованості на підприємстві;

- здійснення подальшої гармонізації бухгалтерського та податкового обліку в частині формування резерву сумнівних боргів, обліку сумнівної та безнадійної дебіторської заборгованості та ін.;

- створення відділу внутрішнього аудиту для контролю за сумнівною та безнадійною заборгованістю;

- забезпечення своєчасного контролю співвідношення дебіторської та кредиторської заборгованості;

- визначення та підтримка оптимального розміру дебіторської заборгованості.

Удосконалення обліку та внутрішнього аудиту дебіторської заборгованості за вказаними напрямами має підвищити їх ефективність, що забезпечить своєчасність, повноту та юридичну обґрунтованість розрахунків з дебіторами як запоруку успішного розвитку, стабільності та стійкості вітчизняних підприємств у сучасних ринкових умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Буфатіна, І. Облік дебіторської заборгованості / І. Буфатіна // Все про бухгалт. облік. – 2010. – № 52. – С. 41–45.
2. Горбачова, О. М. Облік і аналіз дебіторської заборгованості: проблеми та шляхи їх вирішення / О. М. Горбачова, Л. В. Лахай // Торгівля і ринок. – 2010. – № 30. – Т. 2. – С. 392–399.
3. Євлаш, Т. Методичні підходи до удосконалення класифікації дебіторської заборгованості / Тетяна Євлаш // Економ. аналіз. – 2010. – № 5. – С. 255–258.
4. Іванищева, А. В. Вплив структури капіталу на фінансову стійкість підприємства / А. В. Іванищева // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 29. – С. 244–247.
5. Лищенко, О. Г. Управління дебіторською заборгованістю як фактором фінансової стійкості підприємства / О. Г. Лищенко, І. С. Середа // Держава та регіони. Серія : Економіка і підприємництво. – 2010. – № 3. – С. 84–89.
6. Національні нормативи аудиту, затверджені рішенням Аудиторської палати України № 73 від 18 грудня 1998 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.teraudit.com.ua/study/audit_header.php. – Назва з екрана.
7. Податковий кодекс України, прийнятий Верховною Радою 02.12.2010 р. – К. : ВР України, 2010. – 988 с.
8. Положення (стандарт) бухгалтерського обліку № 10 «Дебіторська заборгованість» : наказ Мін-ва фінансів України від 08 жовтня 1999 р. № 237. – К. : Мін-во Юстиції України, 1999. – 9 с.
9. Про аудиторську діяльність : закон України від 22 квітня 1993р. № 3125-ХІІ зі змінами та доповненнями [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws>. – Назва з екрана.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

10. Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні : закон України № 996-XIV від 16 липня 1999 р. зі змінами та доповненнями [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws>. – Назва з екрана.
11. Шульга, А. В. Организация службы внутреннего аудита и методика его проведения / А. В. Шульга, Е. А. Топоркова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 341–346.
12. Cheremushkin, S. V. Firm's Credit Standing and its implications for recognition, measurement and interpretation of the liabilities in financial statements prepared in accordance with US GAAP and IFRS / S. V. Cheremushkin // J. : Intern. accounting. – 2010. – № 4. – P. 22–26.
13. Malka, E. V. Internal control of a debt receivable of the commercial organization: the theory and practice / E. V. Malka // J. : Intern. accounting. – 2011. – № 6. – P. 44–47.
14. Petrov, A. M. Increase transparency a debt receivable indicator in the reporting / A. M. Petrov // J. : Intern. accounting. – 2011. – № 6. – P. 53–56.

В. Д. ЗЕЛИКМАН¹, Ю. А. СОНИНА^{1*}

¹Каф. «Учет и аудит», Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 47 44 51, эл. почта zelikman@mail.ru, ORCID 0000-0002-5623-3845

^{1*}Каф. «Учет и аудит», Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 47 44 51, эл. почта kaf.ua@metal.nmetau.edu.ua, ORCID 0000-0002-0146-5905

ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УЧЕТА И ВНУТРЕННЕГО АУДИТА ДЕБИТОРСКОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Цель. В научном исследовании необходимо осуществить определение и обоснование направлений усовершенствования учета и внутреннего аудита дебиторской задолженности предприятий. **Методика.** Рассмотрены основные принципы и направления улучшения системы учета и внутреннего аудита, которые должны помочь предприятиям Украины оптимизировать дебиторскую задолженность. **Результаты.** Обосновано, что оптимизация дебиторской задолженности возможна на основе усовершенствования ее учета и внутреннего аудита. Определены основные направления усовершенствования учета и внутреннего аудита дебиторской задолженности, к которым относятся: усовершенствование нормативного обеспечения учета дебиторской задолженности на предприятии; осуществление дальнейшей гармонизации бухгалтерского и налогового учета в части формирования резерва сомнительных долгов, учета сомнительной и безнадежной дебиторской задолженности и др.; создание отдела внутреннего аудита для контроля за сомнительной и безнадежной задолженностью; обеспечение своевременного контроля соотношения дебиторской и кредиторской задолженности; определение и поддержание оптимального размера дебиторской задолженности предприятия. **Научная новизна.** Новизна состоит в усовершенствовании учета и внутреннего аудита дебиторской задолженности предприятий за счет развития системы внутреннего аудита и оптимизации размера дебиторской задолженности. **Практическая значимость.** Предложенные рекомендации позволят улучшить систему учета и внутреннего аудита дебиторской задолженности на предприятиях Украины.

Ключевые слова: дебиторская задолженность; платежно-расчетные отношения; субъекты хозяйствования; бухгалтерский учет; система внутреннего аудита; аналитические процедуры; аудиторские доказательства

V. D. ZELIKMAN¹, YU. A. SONINA^{1*}

¹Dep. «Accounting and Audit», National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Av., 4, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. +38 (0562) 47 44 51, e-mail zelikman@mail.ru, ORCID 0000-0002-5623-3845

^{1*}Dep. «Accounting and Audit», National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Av., 4, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. +38 (0562) 47 44 51, e-mail kaf.ua@metal.nmetau.edu.ua, ORCID 0000-0002-0146-5905

IMPROVEMENT WAYS OF ACCOUNTING AND INTERNAL AUDIT OF ENTERPRISE RECEIVABLES

Purpose. Determination and substantiation of ways to improve accounting and internal audit of receivables at the enterprises. **Methodology.** The basic principles and ways for improvement of accounting and internal audit systems that should help Ukrainian enterprises to optimize receivables are considered. **Findings.** It is proved that the

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

receivables optimization is possible on the basis of improving its accounting and internal audit. The basic ways for improvement of accounting and internal audit of receivable are determined. They are: improvement of normative coverage of receivables at the enterprises; providing further harmonization of financial and tax accounting in the part of formation of the doubtful debt receivables, accounting of bad and doubtful receivables and etc. The formation of department for internal audit to control the doubtful and bad debts; providing the timely control of the receivables and payables ratio; determination and support of the optimal value of the receivables at the enterprises. **Originality.** Improvement of accounting and internal audit of receivables at the enterprises by the way of development of internal audit system and optimization of the receivables size. **Practical value.** The proposed recommendations will improve the accounting and internal audit system of receivables at the enterprises of Ukraine.

Keywords: accounts receivable; payment and settlement relations; economic entities; accounting; internal audit system; analytical procedures; audit evidence

REFERENCES

1. Bufatina I. Oblik debitorskoï zaborhovanosti [Accounting of receivables]. *Vse pro bukhgalterskyi oblik – All about accounting*, 2010, no. 52, pp. 41-45.
2. Horbachova O.M., Lakhai L.V. Oblik i analiz debitorskoï zaborhovanosti: problemy ta shliakhy yikh vyrishennia [Accounting and analysis of receivables: problems and solutions for their solving]. *Torhivlia i rynek – Trade & Market*, 2010, no. 30, vol. 2, pp. 392-399.
3. Yevlash Tetiana. Metodychni pidkhody do udoskonalennia klasyfikatsii debitorskoï zaborhovanosti [Methodological approaches for improvement the classification of receivables]. *Ekonomichnyi analiz – Economic Analysis*, 2010, no. 5, pp. 255-258.
4. Ivanyshcheva A.V. Vplyv struktury kapitalu na finansovu stiiikist pidpriemstva [Capital structure impact on the financial stability of the company]. *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 29, pp. 244-247.
5. Lyshchenko O.H., Sereda I.S. Upravlinnia debitorskoïu zaborhovanistiu yak faktorom finansovoi stiiikosti pidpriemstva [Receivables management as a factor of the financial stability at the enterprises]. *Derzhava ta rehiony. Serii: Ekonomika i pidpriemnytstvo – Countries and regions. Series: Economics and Business*, 2010, no. 3, pp. 84-89.
6. *Natsionalni normatyvy audytu* [National audit guidelines]. Available at: http://www.teraudit.com.ua/study/audit_header.php (Accessed 14 April 2014).
7. *Podatkovi kodeks Ukrainy* [Tax code of Ukraine]. Kyiv, Verkhovna Rada Ukrainy Publ., 2010. 988 p.
8. *Polozhennia (standart) bukhgalterskoho obliku № 10 «Debitorska zaborhovanist»* [Regulations (standards) of accounting no. 10 «Receivables»]. Kyiv, Ministerstvo Yustytsii Ukrainy Publ., 1999. 9 p.
9. *Pro audytorsku diialnist: zakon Ukrainy* [On auditing activity: Ukrainian law]. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws> (Accessed 14 April 2014).
10. *Pro bukhgalterskyi oblik ta finansovu zvitnist v Ukraini : zakon Ukrainy* [On Accounting and Financial Reporting in Ukraine: Ukrainian law]. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws> (Accessed 14 April 2014).
11. Shulga A.V., Toporkova Ye.A. Organizatsiya sluzhby vnutrennego audita i metodika yego provedeniya [Organization of the internal audit and its procedure]. *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. 341-346.
12. Cheremushkin S.V. Firm's Credit Standing and its implications for recognition, measurement and interpretation of the liabilities in financial statements prepared in accordance with US GAAP and IFRS. *Jornal: Intern. Accounting*, 2010, no. 4, pp. 22-26.
13. Malka E.V. Internal control of a debt receivable of the commercial organization: the theory and practice. *Jornal: Intern. Accounting*, 2011, no. 6, pp. 44-47.
14. Petrov A.M. Increase transparency a debt receivable indicator in the reporting. *Jornal: Intern. Accounting*, 2011, no. 6, pp. 53-56.

Стаття рекомендована до друку д.ек.н., проф. Ю. С. Барашем (Україна); д.ек.н., проф. В. І. Копитком (Україна)

Надійшла до редколегії: 24.04.2014

Прийнята до друку: 17.06.2014

УДК 338.48 (477)

Л. В. МАРЦЕНЮК^{1*}, Ю. М. ПРОСКУРНЯ², Т. В. ТЕСЛЕНКО³

^{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 gwinform1@rambler.ru, ORCID 0000-0003-4121-8826

²Каф. «Економіка та менеджмент», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (063) 718 96 32, ел. пошта yulia.proskurnya@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6870-0415

³Каф. «Економіка та менеджмент», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 258 38 17, ел. пошта gwinform1@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2543-1272

МЕХАНІЗМ СТВОРЕННЯ ПРОЕКТУ З ВІДКРИТТЯ ФЕРМИ В КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГО ТУРИЗМУ

Мета. Геополітичні та соціально-економічні зміни, розвиток інформаційних технологій суттєво вплинули на динаміку міжнародного туристичного потоку, призвели до трансформування туристичної галузі. У роботі необхідно здійснити дослідження теоретичних і практичних аспектів сутності, змісту та особливостей розвитку туризму в Україні. Потрібно виявити проблеми, які стають на заваді та стримують розвиток в'їзного туризму, перешкоджають швидкому піднесенню й поширенню туристичної слави держави. **Методика.** У роботі використовувалися методи статистичного дослідження та синтезу, а також розрахунковий та аналітичний методи. **Результати.** Авторами проведено аналіз розвитку українського туризму, визначено основні заходи, необхідні для кращого функціонування даної галузі в країні, та важливість транспорту як складової туристичної сфери. У статті вказано, що туризм є одним із найважливіших галузей економіки нашої держави та відіграє дуже важливу роль у зовнішньоекономічних зв'язках. **Наукова новизна.** Автори пропонують значну увагу приділити розвитку в'їзного сільського зеленого туризму, який представлений у вигляді проекту. Розроблення даного проекту (відкриття ферми) та проведення відповідних заходів дало б змогу приваблювати туристів як із України, так і із-за кордону. **Практична значимість.** Комплексний і мобільний характер сучасного туризму сформував попит на безпечне й комфортне для життя та здоров'я середовище, здатне забезпечити всі необхідні умови для реалізації громадянами права на відпочинок і свободу пересування. Запропоновані заходи дозволять підвищити конкурентоспроможність українського туризму на європейському ринку туристичних послуг. Подолання наявних негативних тенденцій, створення системних та комплексних передумов для сталого розвитку туризму має стати одним із пріоритетних напрямів забезпечення сталого розвитку країни в цілому та суттєвою складовою у вирішенні питань підвищення якості життя населення.

Ключові слова: туризм; сфера туризму; в'їзний туризм; транспортний туризм; сільський туризм; Україна

Вступ

Геополітичні та соціально-економічні зміни, розвиток інформаційних технологій суттєво вплинули на динаміку міжнародного туристичного потоку, призвели до трансформування туристичної галузі з такої, що орієнтована на обслуговування організованих туристів, на багатогалузеву сферу діяльності, спрямовану на задоволення різноманітних індивідуальних потреб мільйонів подорожуючих.

Україна посідає одне з провідних місць в Європі за рівнем забезпеченості цінними природними та історико-культурними ресурсами, здатними генерувати значний інтерес у вітчизняних та іноземних туристів. Розвиток сфери

туризму і діяльності курортів України в цілому характеризується позитивною динамікою, зростанням кількісних та якісних параметрів в'їзного та внутрішнього туристичного потоку.

Проте на тлі загострення конкуренції на міжнародному туристичному ринку, загальносвітової тенденції до посилення ролі держав у забезпеченні сталого розвитку туризму, вітчизняний національний туристичний продукт стає все менш привабливим та конкурентоспроможним. Як наслідок, сфера туризму і діяльності курортів у державі не спроможна забезпечити повноцінного виконання економічних, соціальних і гуманітарних функцій, не сприяє збереженню довкілля та культурної спадщини, наповненню бюджетів усіх рівнів,

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

створенню робочих місць, збільшенню питомої ваги сфери послуг у структурі ВВП.

Мета

Туризм є однією з найважливіших галузей економіки країни. Він відіграє важливу роль в зовнішньоекономічних зв'язках, дає поштовх розвитку світової торгівлі та вирішує соціальні і культурні проблеми держави.

З кожним роком кількість відвідуючих зростає. За даними 2013 року кількість туристів, що відвідали Україну, збільшилася на 5 % і становить 26 млн чол., з них жителі Російської Федерації – 10 млн. чол., Білорусі – 3,4 млн, Польщі – 2 млн, Румунії – 870 тис. чол. та таких країн, як Словаччина, Угорщина, Туреччина, США, Німеччина та ін. Україна посідає сьоме місце серед країн світу за кількістю відвідувань щороку.

Методика

Першим, хто описав куьтуру та побут жителів Сходу, вважають венеціанського купця XIII ст. Марко Поло. Він зібрав величезну кількість відомостей про цю місцевість, що стали фундаментом для формування географічних карт.

Провідним спеціалістом туристичної справи вважається англієць Томас Кук. Він відзначився тим, що організував у 1814 році першу туристичну поїздку залізницею з м. Лестер до м. Лафборо. В цій подорожі взяли участь приблизно 600 чол., поїздка коштувала всього один шилінг. Невдовзі Томас Кук заснував своє підприємство, яке почало формувати групи бажуючих відвідати ту чи іншу країну. Спочатку це була Франція, а згодом – інші європейські країни. У 1851 р. Томас Кук відкрив комерційне бюро подорожей під назвою «Томас Кук та син». Саме це бюро невдовзі організувало тур на відпочинок до Швейцарії.

У 1838 році 68 пасажирів здійснили поїздку з Америки до Європи пароплавом «Грейт вестерн».

Таким чином, зародження туризму безумовно пов'язане із залізничним та морським транспортом.

Згодом багато інших держав, таких як Великобританія, США, Франція, Італія, Росія відкривають свої туристичні організації. Так, на Британських островах було відкрито «Кооперативну асоціацію відпочинку».

Формування туризму на території України розпочалося дуже давно.

Перші занотовані спогади про туристично-рекреаційну діяльність в Україні стосуються саме Давньої Греції. Засновувалися міста-колонії такі як Тіра (Белгород-Дністровський), Ольвія (Миколаївська область), Херсонес (околиця м. Севастополя), Пантікапей (Керч), Феодосія, Євпаторія, які були відомими своїми лікувальними водами, грязями кримських озер. Також західна Україна прославилася своїми родовищами лікувальних вод (Поляна, Моршин, Немирів), спогади яких датуються XVI ст. З 1717 року здійснювалися пошуки з мінеральних джерел на території України [11].

Лікар Н. Сумароков в 1799 році зробив перший опис грязелікування, його корисність для народної медицини.

Почалися масові відкриття курортів, таких як Немирів (1814), Трускавець (1827), Саки (1828), Одеські грязеві курорти (1830) [15].

Перші туристичні бюро виникли на кінець XIX ст. У 1895 році було створене Ялтинське екскурсійне бюро. Подібні організації починають виникати у Львові, Галичині, Перемишлі.

Аналогічні заклади починають працювати по всій території України.

В період існування СРСР розвиток туризму здійснювався на профспілковій та відомчій основі. Надавалися пільги у вигляді путівок до будинків відпочинку. В Україні профспілковим туризмом займалась спеціальна структура «Укрпрофтуризм», іноземним – «Інтурист», міжнародним молодіжним – «Супутник». Оскільки Україна входила до складу Радянського Союзу, то туристичне господарство України функціонувало в системі туристичного господарства СРСР.

Після розпаду Радянського Союзу майже на 80 % зменшилась кількість відвідувань іноземними туристами нашої держави порівняно з попередніми роками.

У 1995 році Верховна Рада України прийняла «Закон про туризм», який поклав початок нового розвитку туризму [9].

Результати

Маючи вдале географічне положення, сприятливий клімат, наявність історико-культурного, природно-ресурсного та туристично-рекреаційного потенціалу, Україна має всі можливості для

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

розвитку в'їзного туризму. Але на цей час туристичний бізнес орієнтований переважно на виїзд. Більшість туристичних фірм відправляють українців за кордон, а лише незначна їх частина займається залученням іноземців до нашої держави. Таким чином, переважна частина капіталу йде за кордон, а не до державного бюджету України [1].

Таблиця 1

Динаміка туристичних потоків за 2000–2012 рр.

Table 1

Dynamics of touristic flows for 2000–2012

Рік	Іноземні туристи	Туристи-громадяни України, які виїжджали за кордон	Внутрішні туристи
2000	377 871	285 353	1 350 774
2001	416 186	271 281	1 487 623
2002	417 729	302 632	1 544 956
2003	590 641	344 332	1 922 010
2004	436 311	441 798	1 012 261
2005	326 389	566 942	932 318
2006	299 125	868 228	1 039 145
2007	372 455	336 049	2 155 316
2008	372 752	1 282 023	1 386 880
2009	282 287	913 640	1 094 170
2010	335 835	1 295 623	649 299
2011	234 271	1 250 068	715 638
2012	269 969	1 956 483	807 195

На сьогодні день в Україні працює приблизно 3 000 оздоровчих закладів та закладів відпочинку, 6 000 готелів [5].

Кількість оздоровчих закладів помітно зменшилась за період 2005–2011 рр.: заклади скоротилися на 1,3 % в рік, номерний фонд – на 1,4 % в рік, коефіцієнт використання номерного фонду залишається низьким (табл. 2) [17].

Україна багата на історичні, мистецькі, архітектурні пам'ятки. На сьогодні на території нашої держави є приблизно 130 тис. пам'яток, з яких: археологічних – 57 206, історичних – 51 364, пам'ятки ландшафтні, садово-паркового мистецтва – 3 541 [16].

Україна є членом ЮНЕСКО (Організації Об'єднаних Націй з питань освіти, науки та

культури) з 1954 року. У 2013 році до ЮНЕСКО прийнято: Церкву Святого Духа (с. Потелич, Львівська обл.), Церкву Святої Трійці (м. Жовква, Львівська обл.) та Стародавнє місто Херсонес Таврійський (м. Севастополь).

Таблиця 2

Показники діяльності оздоровчих закладів в Україні 2005–2011 роки

Table 2

Performance indicators of health institutions in Ukraine during 2005–2011 years

Рік	Кількість закладів, од.	Кількість місць, од.	Оздоровлено, тис. осіб	Коефіцієнт використання
2005	3 245	482	3 267	0,019
2006	3 164	482	3 278	0,019
2007	3 110	466	3 486	0,020
2008	3 073	462	3 592	0,021
2009	3 041	453	3 122	0,019
2010	3 011	449	2 987	0,018
2011	3 012	445	2 942	0,018

За останні кілька років популярним став розвиток сільського зеленого туризму. Україна має всі можливості для його розвитку та поширення по всій території нашої держави. Цей вид дозволяє туристам відпочити в сільській місцевості та насолодитися розкішними барвами українського села. Туристи зможуть ознайомитися з культурою українського народу: традиціями, обрядами, піснями, танцями, смачною кухнею та ін. Перевагами цього відпочинку, поперше, є те, що він, поміж інших, являється відносно недорогим; по-друге, бажання оздоровитися; по-третє, побути якнайдалі від міського шуму та метушні [12].

Екотуризм є економічно вигідним в тому плані, що на його розвиток не потрібно значних капіталовкладень, достатньо лише використання існуючої інфраструктури сільських населених пунктів, будинків сільських господарів. А якщо ще й долучити екскурсійні маршрути, які допоможуть розкрити джерела української культури та мистецтва, літератури, то відпочинок стане напрочуд цікавим та незабутнім [14]. Туристи зможуть відвідувати різні місця, наприклад, які пов'язані з іменами видатних лю-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

дей такими, як Тарас Шевченко (на Черкащині), Леся Українка (на Житомирщині), Іван Котляревський та Микола Гоголь (на Полтавщині), зможуть відвідати місце, яке славиться створенням неймовірних шедеврів – петриківським розписом в с. Петриківка Дніпропетровської області, та насолоджуватися видатними центрами художніх промислів, малярством, гончарством, прекрасною українською вишивкою, ткацтвом і т. д.

Важливу роль відіграє транспорт. Перед тим як визначитись, до якої країни вирушити, турист враховує певні чинники: швидкість прибуття до зазначеного місця, зручність самої подорожі, вартість, можливість перевезення багажу, умови харчування, зупинки під час поїздки, умови для відпочинку і саме найголовніше – це безпека [2].

За січень-листопад 2013 року залізничним транспортом було перевезено 392,6 млн чол., автомобільним – 3 059,8 млн. чол., водним – 6,8 млн чол., авіаційним – 7,6 млн чол.

Наукова новизна та практична значимість

Існує низка проблем, які стримують розвиток туризму в країні. Через низьку конкурентоспроможність вітчизняного торгового продукту Україна не може зайняти гідне місце серед інших європейських держав, оскільки вона має малу довіру з боку туристів [18].

Ще одним із важливих чинників, що негативно впливає на розвиток іноземного туризму, є недостатньо розвинена транспортна система, до якої належать організація залізничного сполучення, транзитні перевезення та ін. Транспорт України знаходиться не в досить задовільному стані та не відповідає міжнародним стандартам надійності, швидкості, безпечності та комфортності перевезення [6].

Наступним чинником є недостатня поінформованість іноземних туристів, тобто неотримання ними своєчасної, достовірної та безліч іншої інформації про туристично-рекреаційні можливості країни, на не високому рівні знаходиться технічна інфраструктура (наприклад стан доріг, вулиць і т. д.), рівень сервісу не відповідає міжнародним вимогам обслуговування, відсутність підтримки з боку держави щодо розвитку туристичного бізнесу в Україні [10].

Транспорт став важливою складовою туристичної сфери. Відповідно до задоволення туристичних потреб транспортні засоби відносяться до первинних, вторинних та третинних підприємств рекреаційного комплексу. До первинних відносять транспортні підприємства, які займаються обслуговуванням туристів (залежно від вибору виду транспорту); до вторинних відносять транспортні підприємства, які займаються внутрішніми та зовнішніми пасажироперевезеннями; до третинних – транспортні підприємства, що займаються обслуговуванням сільськогосподарських підприємств і тим самим залучені в обслуговування туристів [7].

Якщо поєднати транспортний комплекс з туризмом, то така взаємодія буде досить вигідною в тому плані, що, по-перше, приблизно 85 % доходу від пасажирських перевезень отримується саме від обслуговування туристів; по-друге, транспорт сприяє залученню периферійних ділянок рекреаційного простору; по-третє, саме розвиток транспортної мережі міг би прискорити процес інтеграції нашої держави в міжнародний економічний простір і як наслідок – збільшенню кількості іноземних туристів.

Україна має досить вигідне транспортно-географічне положення. Вона поєднує країни СНД з країнами Центральної та Південної Європи, Близького Сходу та Африки. Передбачається створення в Європі та Азії системи транспортних коридорів, де українські магістралі посідатимуть важливе місце.

Через територію України проходять наступні міжнародні транспортні коридори:

– 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 (Тірана)–Димитровград (Афіни)–Стамбул; Євроазіатський–Одеса–Тбілісі (Єреван)–Баку–Ашгабат; Північ–Південь–Харків–Полтава–Кіровоград–Одеса [7].

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Запропоновано проект розвитку сільського зеленого туризму.

Цей проект передбачає відкриття підприємства (сільської ферми) із свійськими тваринами. Це буде дуже цікаво для туристів, які приїдуть до нас із-за кордону, вони зможуть повністю поринути в цей дивовижний світ, відчути незрівнянний колорит українського села.

Пропонується побудувати ферму в кожній області, вибравши відповідну місцевість.

Проектом передбачається, що ферма буде мати такі види тварин: свині – 5 шт.; кури – 50 шт.; гуси – 20 шт.; качки – 20 шт.; корови – 5 шт.; страуси – 5 шт.; нутрії – 5 шт., з якими, за бажанням туриста, можна буде сфотографуватися.

На цій ділянці землі також буде відкрито кафе в українському стилі, де будуть представлені виключно українська страва і кожен бажаний турист зможе смачно попоїсти. Оскільки все це буде знаходитися неподалік, турист зможе купити екологічно чисте та свіже молоко, творог, яйця (курині, качині, гусині). Також буде відкрито будинок «Спадщина української культури», в якому будуть знаходитися українські здобутки це: вишивки, різноманітні вироби з глини, шедеври петриківського розпису і т. д. Якщо турист бажає залишитися, йому буде запропоновано житло, звичайно, за відповідну плату.

Також в майбутньому передбачається збільшувати доходи підприємства за рахунок розведення тварин та продаж продуктів харчування туристам.

Для ефективного функціонування та процвітання туризму в Україні необхідно: створити нормативно-правову базу державного регулювання в галузі туризму; розробити відповідну маркетингову стратегію, яка б допомогла збільшити кількість туристів, якомога вигідніше використати туристично-рекреаційний потенціал країни, сприяла б формуванню позитивного іміджу на світовому ринку туристичних послуг; створити інвестиційні умови розвивати рекламну індустрію, яка збільшить потоки туристів; впроваджувати ефективні економічні механізми державного регулювання туристичної сфери; створити такі інвестиційні умови, які б стимулювали приплив коштів в об'єкти туристичної індустрії на території країни; розробити більш ефективні організаційні структури управління галуззю туризму; відновити природне та істо-

рико-культурне середовище. Всі ці заходи допоможуть Україні вийти на міжнародний рівень туристичних послуг [13].

Державна політика в сфері туризму повинна мати такі чинники: стимулювання внутрішнього та в'їзного туризму; розширення різновидів туристичних послуг; високий рівень обслуговування туристів, який відповідає міжнародним стандартам; будівництво та оновлення туристичних об'єктів; відновлення пам'яток історії, культури, архітектури; модернізація інфраструктури туристичної та курортно-рекреаційної сфери; вдосконалення транспортної системи, будівництво доріг, каналізації, водопостачання; виробництво чисто екологічної сільськогосподарської продукції для задоволення потреб відпочиваючих; раціональне використання туристично-рекреаційного та історико-культурного потенціалу країни та ін. [5].

Висновки

Основою туристичного ринку є рекреаційно-туристичний комплекс, для розвитку якого існують всі необхідні природні умови, історико-культурні, матеріальні ресурси.

Для підвищення розвитку туризму найважливішими практичними кроками повинні бути: розроблення та удосконалення нормативно-правової бази з питань туризму; розроблення стандартів на послуги, якими користуються туристи; сертифікація туристичних послуг; удосконалення порядку ліцензування суб'єктів туристичного підприємства; створення пільгових умов для стимулювання організацій відпочинку й оздоровлення дітей та молоді та інших соціально незахищених груп населення; налагодження потужної реклами, випуск спеціальних видань туристичного напрямку (газети, журнали, підручники).

На сьогодні з'ясовується, чи стане туризм однією із головних статей доходу у бюджеті, як, наприклад, в інших більш цивілізованих країнах, чи залишиться без змін. Все це залежить від того, яка здійснюватиметься політика щодо розвитку туризму, тобто на кого буде орієнтований ринок туристичних послуг. Таким чином, є два шляхи вирішення: розвивати іноземний туризм чи все ж таки звернути увагу та розвивати внутрішній туризм.

Якщо взяти до уваги саме другий варіант (орієнтація на розвиток внутрішнього тури-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

стичного процесу), то ми повинні визначитися, на що саме потрібно звертати увагу на в'їзний (регіональний) чи виїзний туризм. Для України, звичайно, прибутковим є в'їзний туризм, адже він надає додаткові робочі місця та забезпечує державу грошовими надходженнями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абдуразакова, Я. М. Современный международный туризм: тенденции и перспективы / Я. М. Абдуразакова // Вестн. АГТУ. Сер. : Экономика. – 2010. – Т. 2. – Вып. 2. – С. 159–166.
2. Биржаков, М. Б. Индустрия туризма: перевозки / М. Б. Биржаков, В. И. Никифоров. – СПб : Герда, 2007. – 528 с.
3. Головащенко, О. В. Соціальні функції і види туризму в перехідному суспільстві / О. В. Головащенко // Нова парадигма : Альманах наук. пр. – Запоріжжя, 2000. – Вып. 18. – С. 23–27.
4. Левковська, Л. Стан і перспективи розвитку туризму та готельного бізнесу в Україні / Л. Левковська // Економіка України. – 2003. – № 6. – С. 31–36.
5. Любіцева, О. О. Ринок туристичних послуг / О. О. Любіцева. – К. : Альтерпрес, 2002. – 436 с.
6. Марценюк, Л. В. Вплив залізничного транспорту на економіку України / Л. В. Марценюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вып. 42. – С. 274–278.
7. Марценюк, Л. В. Основні засади розвитку транспортного туризму в Україні / Л. В. Марценюк // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 5 (47). – С. 24–32.
8. Новгородцева, А. Н. Становление теории туризма в зарубежной и отечественной практике [Електронний ресурс] / А. Н. Новгородцева // Изв. РГПУ им. А. И. Герцена. – 2009. – № 115. – Режим доступу: <http://cyberleninka.ru/article/n/stanovlenie-teorii-turizma-v-zarubezhnoy-i-otechestvennoy-praktike>. – Назва з екрана.
9. Про туризм : закон України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/324/95-вр>. – Назва з екрана.
10. Радіонова, Н. В. Сучасні інструменти маркетингу вантажних перевезень у ринкових умовах України / Н. В. Радіонова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вып. 38. – С. 287–290.
11. Розвиток туризму в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.marshruty.in.ua/index.php/rozvytok-turyzmu-v-ukraini.php>. – Назва з екрана.
12. Сільський зелений туризм [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://pidruchniki.ws/10560412/turizm/silskiy_zeleniy_turizm. – Назва з екрана.
13. Смирнов, І. Г. Логістика туризму : навч. посіб. / І. Г. Смирнов. – К. : Знання, 2009. – 444 с.
14. Спілка сприяння розвитку сільського зеленого туризму в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.greentour.com.ua>. – Назва з екрана.
15. Федорченко, В. К. Історія туризму в Україні / В. К. Федорченко, Т. А. Дьорова. – К. : Вища школа, 2002. – 195 с.
16. Хвостенко, С. Туризм на Україні / С. Хвостенко. – К. : Здоров'я, 1976. – 120 с.
17. Чернишенко, А. Формування стратегії сталого розвитку туризму і курортів в Україні : круглий стіл / А. Чернишенко // Новини турбізнесу. – 2007. – № 12. – С. 20.
18. Tourism development, rural livelihoods, and conservation in the Okavango delta, Botswana. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-3064/MBAIWA-DISSERTATION.pdf>. – Назва з екрана.
19. Training Needs of Agricultural Extension Agents in the Central Agricultural Zone of Delta State Nigeria.pdf [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.vri-online.org.uk/ijrs/April2011/TrainingNeedsofAgriculturalExtensionAgentsintheCentralAgriculturalZoneofDeltaStateNigeria.pdf>. – Назва з екрана.

Л. В. МАРЦЕНЮК^{1*}, Ю. Н. ПРОСКУРНЯ², Т. В. ТЕСЛЕНКО³

^{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, ORCID 0000-0003-4121-8826

²Каф. «Економіка и менеджмент», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (063) 718 96 32, эл. почта yulia.proskurnya@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6870-0415

³Каф. «Економіка и менеджмент», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 258 38 17, эл. почта gwinform1@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2543-1272

МЕХАНИЗМ СОЗДАНИЯ ПРОЕКТА ПО ОТКРЫТИЮ ФЕРМЫ В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ТУРИЗМА

Цель. Геополитические и социально-экономические изменения, развитие информационных технологий существенно повлияли на динамику международного туристического потока, привели к трансформированию туристической отрасли. В работе необходимо осуществить исследование теоретических и практических аспектов сущности, содержания и особенностей развития туризма в Украине. Требуется выявить проблемы, которые препятствуют и сдерживают развитие въездного туризма, тормозят быстрый подъем и распространение туристической славы государства. **Методика.** В работе использовались методы статистического исследования и синтеза, а так же расчетный и аналитический методы. **Результаты.** Авторами проведен анализ развития украинского туризма, определены основные мероприятия, необходимые для лучшего функционирования данной отрасли в стране, и важность транспорта как составляющей туристической сферы. В статье указано, что туризм является одним из важнейших отраслей экономики государства и играет очень важную роль во внешнеэкономических связях. **Научная новизна.** Авторы предлагают значительное внимание уделить развитию въездного сельского зеленого туризма, который представлен в виде проекта. Разработка данного проекта (открытие фермы) и проведения соответствующих мероприятий позволило бы привлекать туристов как из Украины, так и из-за рубежа. **Практическая значимость.** Комплексный и мобильный характер современного туризма сформировал спрос на безопасную и комфортную для жизни и здоровья внешнюю среду, способную обеспечить все необходимые условия для реализации гражданами права на отдых и свободу передвижения. Предложенные меры позволят повысить конкурентоспособность украинского туризма на европейском рынке туристических услуг. Преодоление имеющихся негативных тенденций, создание системных и комплексных предпосылок для устойчивого развития туризма должно стать одним из приоритетных направлений обеспечения устойчивого развития страны в целом и существенной составляющей в решении вопросов повышения качества жизни населения.

Ключевые слова: туризм; сфера туризма; въездной туризм; транспортный туризм; сельский туризм; Украина

L. V. MARTSENYUK^{1*}, YU. M. PROSKURNIA², T. V. TESLENKO³

^{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, ORCID 0000-0003-4121-8826

²Dep. «Economics and Management», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (063) 718 96 32, e-mail yulia.proskurnya@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6870-0415

³Dep. «Economics and Management» Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 258 38 17, e-mail rwinform1@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2543-1272

CREATION MECHANISM OF THE PROJECT ON FARM OPENING IN THE CONTEXT OF RURAL TOURISM DEVELOPMENT

Purpose. Geopolitical and socioeconomic changes, development of information technologies are materially have affected on the dynamic of international tourist flow, lead to transformation of tourism industry. The work is aimed to research the theoretical and practical aspects of essence, the contents and features of tourism development in Ukraine. One should identify the problem, which interfere and constrain the development of the entrance tourism, interfering fast lifting and distribution of tourist glory of the state. **Methodology.** The methods of statistical research, settlement, analytical and a synthesis method were used in the work. **Findings.** The author has analyzed the development of Ukrainian tourism. The main measures, which need to be carried out for the best functioning of this branch in the country and the importance of transport as the component of the tourism industry, were also defined. The article specifies that the tourism is one of the most important branches of the state economics and plays very important role in the foreign economic relations. **Originality.** The authors propose to pay the considerable attention to the development of entrance rural green tourism, which is presented in the form of the project. Development of this project (farm opening) and running the relevant activities would allow to attract tourists as from Ukraine, so from abroad. **Practical value.** Complex and dynamic character of modern tourism formed demand for a safe and comfortable environment for life and health. The offered measures will increase the competitiveness of Ukrainian tourism in the European market of tourist services. It should provide all the necessary conditions for the implementation of citizens' right to freedom of movement and rest. Overcoming the existing negative trends, creation of systematic and complex precondition for the sustainable development of tourism should become one of the prior directions to ensure the sustainable development of the country as a whole and a significant component in the solving of tasks of improvement of the population quality of life

Keywords: tourism; tourism industry; entrance tourism; transport tourism; rural tourism

REFERENCES

1. Abdurazakova Ya.M. Sovremennyy mezhdunarodnyy turizm: tendentsii i perspektivy [Modern international tourism: tendencies and prospects]. *Vestnik Astrakhaskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Economics], 2010, vol. 2, issue 2, pp. 159-166.
2. Birzhakov M.B., Nikiforov V.I. *Industriya turizma: perevozki* [Tourism industry: transportations]. Saint Petersburg, Gerda Publ., 2007. 528 p.
3. Holovashenko O.V. Sotsialni funktsii i vydy turyzmu v perekhidnomu suspilstvi [Social functions and types of the tourism in transitional society]. *Nova paradyhma* [New paradigm], 2000, issue 18, pp. 23-27.
4. Levkovska L. Stan i perspektyvy rozvytku turyzmu ta hotelnoho biznesu v Ukraini [State and the development prospects of tourism and hotel business in Ukraine]. *Ekonomika Ukrainy – Economics of Ukraine*, 2003, no. 6, pp. 31-36.
5. Liubitseva O.O. *Rynok turystychnykh posluh* [Market of tourist services]. Kyiv, Alterpres Publ., 2002. 436 p.
6. Martseniuk L.V. Vplyv zaliznychnoho transportu na ekonomiku Ukrainy [Influence of railway transport on the Ukrainian economics]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 274-278.
7. Martseniuk L.V. Osnovni zasady rozvytku transportnoho turyzmu v Ukraini [Basic foundations of the transport tourism development in Ukraine]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho*

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

- universitetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 5 (47), pp. 24-32.
8. Novgorodtseva A.N. Stanovleniye teorii turizma v zarubezhnoy i otechestvennoy praktike (Formation of the tourism theory in foreign and domestic practice). *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni A. I. Gertsena – Bulletin of Russian State Pedagogic University named after A. S. Gertsen*, 2009, no. 115. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/stanovlenie-teorii-turizma-v-zarubezhnoy-i-otechestvennoy-praktike> (Accessed 10 May 2014).
 9. *Pro turizm: zakon Ukrainy* (On the tourism: Ukrainian law). Available at: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/324/95-vr> (Accessed 10 May 2014).
 10. Radionova N.V. Suchasni instrumenty marketynhu vantazhnykh perevezen u rynkovykh umovakh Ukrainy [Modern marketing instruments of freight cars in the market conditions of Ukraine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 287-290.
 11. *Rozvytok turyzmu v Ukraini* (Tourism development in Ukraine). Available at: <http://www.marshruty.in.ua/index.php/rozvytok-turyzmu-v-ukraini.php> (Accessed 10 May 2014).
 12. Silskiy zeleniy turizm (Rural tourism). Available at: http://pidruchniki.ws/10560412/turizm/silskiy_zeleniy_turizm (Accessed 10 May 2014).
 13. Smyrnov I.H. *Lohistyka turyzmu* [Tourism logistics]. Kyiv, Znannia Publ., 2009. 444 p.
 14. *Spilka spriannia rozvytku silskoho zelenoho turyzmu v Ukraini* (Union for promotion of rural green tourism in Ukraine). Available at: <http://www.greentour.com.ua> (Accessed 10 May 2014).
 15. Fedorchenko V.K., Dorova T.A. *Istoriia turyzmu v Ukraini* [Tourism history in Ukraine]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 2002. 95 p.
 16. Khvostenko S. *Turyzm na Ukraini* [Tourism in Ukraine]. Kyiv, Zdorovia Publ., 1976. 120 p.
 17. Chernyshenko A. Formuvannia stratehii staloho rozvytku turyzmu i kurortiv v Ukraini: kruhlyi stil [Forming of strategy for sustainable development of tourism and resorts in Ukraine: roundtable]. *Novosti turbyznesa – News of Tourism Business*, 2007, no. 12, p. 20.
 18. Tourism development, rural livelihoods, and conservation in the Okavango delta, Botswana. Available at: [https:// repository.tamu.edu /bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-3064/ MBAIWA-DISSERTATION.pdf](https://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-3064/MBAIWA-DISSERTATION.pdf) (Accessed 10 May 2014).
 19. Training Needs of Agricultural Extension Agents in the Central Agricultural Zone of Delta State Nigeria.pdf. Available at: [http://www.vri-online.org.uk/ijrs/April2011/Training Needs of Agricultural Extension Agents in the Central Agricultural Zone of Delta State Nigeria.pdf](http://www.vri-online.org.uk/ijrs/April2011/Training%20Needs%20of%20Agricultural%20Extension%20Agents%20in%20the%20Central%20Agricultural%20Zone%20of%20Delta%20State%20Nigeria.pdf) (Accessed 10 May 2014).

Стаття рекомендована до публікації д.е.н., проф. О. М. Гненним (Україна); д.е.н., проф. В. Т. Вєчеровим (Україна)

Надійшла до редколегії: 15.05.2014

Прийнята до друку: 18.07.2014

УДК 656.2.07-027.19

О. И. ХАРЧЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 85 95, эл. почта kharchenko-o@mail.ru, ORCID 0000-0003-2068-0640

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА С ПОЗИЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Цель. Современные транспортные системы не являются устойчивыми и не способны противостоять дестабилизирующим факторам. Мировой тенденцией в управлении экономическими хозяйственными системами является использование концепции устойчивого развития. В работе необходимо на основе анализа литературных источников определить направления для решения задач повышения эффективности функционирования подразделений железнодорожного транспорта с позиции устойчивого развития. **Методика.** Для достижения поставленной цели были исследованы особенности использования концепции устойчивого развития и ее реализации при управлении сложными системами, а также проведен анализ существующих моделей в области повышения эффективности функционирования подразделений железнодорожного транспорта. **Результаты.** На основе проведенного анализа литературных источников, сохраняя содержательную сущность устойчивого развития, были выделены основные направления повышения эффективности функционирования подразделений, которые учитывают требования устойчивого развития и должны рассматриваться как комплекс мероприятий. **Научная новизна.** Автором предложены новые направления рассмотрения вопроса повышения эффективности с позиции устойчивого развития, т.е. три составляющие концепции устойчивого развития (экономическая, экологическая и социальная) должны рассматриваться сбалансированно. Таким образом, проведенные теоретические исследования могут способствовать формированию новой модели хозяйствования, соответствующей целям и принципам устойчивого развития. **Практическая значимость.** Проведенный анализ разработок подтверждает необходимость проведения исследований по перспективным направлениям развития подразделений железнодорожного транспорта, которые обозначены руководством Укрзализныци. Это дает возможность выделить основные направления для дальнейшего исследования в области повышения эффективности.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; повышение эффективности; функционирование железнодорожного транспорта; устойчивое развитие; сложные системы; подразделения железнодорожного транспорта

Введение

Отсутствие качественных преобразований и хроническое недофинансирование транспортной системы Украины вызывает негативные последствия: увеличивается износ технических средств, не обеспечивается необходимая безопасность движения, снижается качество обслуживания, что в свою очередь ведет к вытеснению украинских перевозчиков с международных рынков транспортных услуг и создает угрозу экономической безопасности государства.

Динамика объемов перевозок грузов железнодорожным транспортом с 2008 по 2012 г. показывает, что объемы перевозок все еще не достигли уровня докризисного 2008 года и по итогам 2012 года составили 457,4 млн. тонн, что на 3 % хуже результатов даже 2011 года.

Все эти факторы показывают, что современные транспортные системы не являются устойчивыми и не способны противостоять дестабилизирующим факторам.

На сегодняшний день современной мировой тенденцией в управлении экономическими хозяйственными системами является использование концепции устойчивого развития.

Украинская сеть железных дорог занимает ведущее место по объемам перевозок и играет ключевую роль в социально-экономическом развитии нашей страны, поэтому функционирование подразделений железнодорожного транспорта по типу устойчивой системы является ведущим фактором устойчивого развития всего общества.

В стратегии развития железнодорожного транспорта Украины на период до 2020 года од-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ним из основных направлений является уменьшение негативного влияния железнодорожного транспорта на окружающую среду и внедрение ресурсосберегающих технологий, что актуализирует потребность в исследованиях внедрения концепции устойчивого развития при разработке мероприятий по повышению эффективности функционирования подразделений железнодорожного транспорта.

Применение концепции устойчивого развития и ее реализация при управлении сложными системами рассматривали в своих работах Ю. С. Бараш, Т. В. Бегун, Ю. В. Косов, С. Н. Бобылев, Н. В. Островский, Н. П. Тарасова, О. Л. Кузнецов.

Также были исследованы работы в области повышения эффективности функционирования подразделений железнодорожного транспорта отечественных и зарубежных ученых, таких как: А. О. Мурадьяна, П. А. Новикова, Д. В. Ломотько, Н. В. Пановой, А. А. Анчугина, Т. В. Полишко, М. М. Сергиенко, В. И. Пасичника, А. М. Маслова, Д. И. Кочневой, А. С. Мирошник, М. М. Чеховской, У. В. Антонюка, В. Н. Пономарева, Е. Л. Кузиной, А. А. Машукова и т. д.

Проанализированные работы не содержат моделей, позволяющих предложить мероприятия, которые в полной мере учитывают основные требования к устойчивому развитию в комплексе, что и побудило интерес к исследованию.

Цель

Целью данной статьи является определение направлений для решения одной из основных задач реформирования сферы железнодорожного транспорта, т.е. задачи повышения эффективности функционирования подразделений железнодорожного транспорта с позиции устойчивого развития.

Методика

Один из основных путей повышения эффективности работы подразделений железнодорожного транспорта – это модернизация системы управления и организации его работы.

Для решения задач управления сложными системами, такими как железнодорожный транспорт, используются традиционные подходы решения задач управления:

– оптимальное (программное) управление, суть которого состоит в переводе управляемой

системы в желаемое состояние по некоторому оптимальному пути;

– информационное управление, при котором энергетические ресурсы, затрачиваемые на управление, незначительны по сравнению с энергетическими ресурсами объектов управления;

– адаптивное управление, применяется в случаях, когда влияние традиционных факторов, обеспечивающих функционирование системы, является относительно не сильным или таковым, что влияние этих факторов можно изменить в течение относительно короткого интервала времени;

– метод массовых проб, суть метода состоит в преобразовании сложной системы как объекта управления в систему квазистохастическую с последующим поиском оптимального (квази-оптимального) решения;

– рефлексивное управление, направлено на непрерывное решение потока задач, направленных на устранение проблем, которые порождает динамично изменяющаяся внешняя и внутренняя среда;

– нечеткое управление.

Практическое применение разработанных подходов к управлению затруднено вследствие:

– слабопредсказуемости системы;

– обладания большими энергоресурсами, а также большой динамической инерционностью;

– невозможности выделить такие управленческие воздействия, результаты которых однозначно влияют на изменение состояния управляемой системы.

Стоит обратить внимание и на то, что на железнодорожном транспорте до сих пор сохраняются подходы к планированию и решению управленческих и хозяйственных задач, сложившихся еще во времена плановой системы управления. Основной чертой этой системы являлась жесткая ориентация на выполнение государственного плана. В современных рыночных условиях хозяйствования обнаруживается низкая эффективность применения данного подхода, что объясняется следующими обстоятельствами:

– рыночные условия обусловили существенное увеличение количества факторов и событий, требующих непосредственной реакции руководителей и специалистов предприятий. Появились такие ранее отсутствовавшие в плановой экономике факторы, как анализ поведения по-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

требителей услуг, поставщиков ресурсов, особенности работы местных органов власти и др;

– появилась необходимость оперативного реагирования руководителей предприятий отрасли на происходящие события, принятия решений в короткие сроки;

– расширилось количество хозяйственных и управленческих вопросов, требующих осмысления и комплексного решения на уровне руководства структурных единиц и подразделений.

Повышенные требования рынка к уровню комплексных управленческих решений приводит к низкой эффективности управления не только подразделений, но и отрасли в целом.

Поэтому в последнее время все больше внимания уделяется более новому комплексному подходу управления – концепции устойчивого развития.

Понятие устойчивого развития (англ. – sustainable development) впервые было введено в 1987 г. Международной комиссией по окружающей среде и развитию, созданной Генеральной Ассамблеей ООН (Комиссия Г. Х. Брундтланд) [19]. При этом под устойчивым развитием понималось такое развитие, которое удовлетворяет потребности нынешнего поколения, не подрывая возможностей будущих поколений удовлетворять их собственные потребности. То есть устойчивое развитие любой (экономической, политической и т.д.) системы предполагает сбалансированное функционирование составляющих ее элементов.

При исследовании последних разработок в области повышения эффективности функционирования подразделений железнодорожного транспорта было отмечено, что в большинстве работ в качестве критерия эффективности (целевой функции) используют комплексные показатели экономического характера [5, 7, 9, 10, 12]. Также существуют работы, которые рассматривают процессы повышения эффективности функционирования подразделений железнодорожного транспорта на базе технологических показателей [3, 4, 11]. В работах [6, 15] в исследовании учитывается экологическая составляющая технологических процессов, однако эта задача решается обособленно от задачи повышения экономической эффективности технологических процессов. Социальная составляющая функционирования подразделений железнодорожного транспорта в проанализирован-

ных научных работах не рассматривается вообще. Применение же концепции устойчивого развития и ее реализация при управлении сложными системами (в том числе – при управлении подразделениями железнодорожного транспорта) подразумевает, в первую очередь, учет экологической и социальной составляющих процессов функционирования сложных систем, а также внедрение ресурсосберегающих технологий. Это было обозначено в обсуждении экологических вопросов на Совете Министров Европейской конференции министров транспорта (European Conference of Ministers of Transport, ЕСМТ). Члены ЕКМТ подчеркнули, что несмотря на значительный экологический ущерб, связанный с транспортом, его положительный эффект очень большой, поэтому актуальным вопросом является принятие таких решений, которые позволяют достигнуть наибольшего положительного эффекта от транспортной деятельности при одновременной минимизации экологического ущерба.

Самым экологическим транспортом является железнодорожный транспорт, поэтому существует необходимость максимального перевода как можно большего объема грузовых и пассажирских перевозок на железнодорожный транспорт для уменьшения загрязнения воздуха и шума, а также других влияний транспорта на общество [1].

Одной из основных теоретических задач является разработка показателей оценки эффективности функционирования сложных систем, позволяющих реализовать принципы устойчивого развития, так как существующие количественные показатели, использующие на железнодорожном транспорте, не решают проблемы соизмерения разнокачественных понятий, не являются аддитивными, субъективны, а также не позволяют оценить эффективность действий и обеспечить устойчивое развитие.

В настоящий момент существует несколько вариантов расчета индикаторов (измерителей) устойчивого развития – показателей, выводимых из накопленных знаний, которые обычно нельзя использовать для интерпретации изменений, позволяющих судить о состоянии или изменении экономической, социальной или экологической переменной. В основе этих расчетов в основном лежат два подхода:

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

1) построение обобщенного, агрегированного индикатора; основанного на нескольких других индикаторах; из-за ряда статистических (отсутствие необходимой и достоверной статистической базы), методологических проблем, а также сложности расчета общепризнанного интегрированного индикатора устойчивого развития пока не существует;

2) построение системы индикаторов: этот подход более распространен и базируется на построении системы показателей, которые могут отражать отдельные аспекты устойчивого развития.

Наиболее распространенной методологией построения индикаторов является комплексная разработка Комиссии ООН по устойчивому развитию, где все индикаторы были разделены на 4 группы: социальные, экономические, экологические и организационные.

На решение задачи разработки системных показателей и внедрение принципов устойчивого развития также направлен вектор и отечественных ученых. Так, например, в работе [13] авторами систематизированы факторы влияния транспорта на окружающую среду, а в работе [16] установлены проблемы и задачи устойчивого развития украинской экономики.

Результаты

На основе проведенного анализа литературных источников, сохраняя содержательную сущность устойчивого развития, были выделены следующие основные направления, которые должны рассматриваться как комплекс мероприятий:

– формирование ресурсосберегающих технологий функционирования подразделений железнодорожного транспорта: решение задач формирования рациональной структуры парка локомотивов и вагонов, обоснование рациональной перерабатывающей способности фронтов погрузо-разгрузочных работ, а также рациональных параметров складского хозяйства;

– комплексная оценка экологической составляющей процессов функционирования подразделений железнодорожного транспорта и ее учет в задачах формирования ресурсосберегающих технологий функционирования;

– учет социальной составляющей процессов функционирования подразделений железнодорожного транспорта за счет разработки органи-

зационной структуры подразделений и графиков работы, соответствующих законодательству и современным мировым тенденциям по охране труда.

Научная новизна и практическая значимость

Предложены новые направления рассмотрения вопроса повышения эффективности с позиции устойчивого развития, т.е. три составляющие концепции устойчивого развития (экономическая, экологическая и социальная) должны рассматриваться сбалансировано.

На сегодняшний день перспективные направления развития подразделений железнодорожного транспорта, представленные руководством Укрзалізнички на основании потребностей в коренном технологическом переоснащении материально-технической базы железных дорог в [8] и направления управления инновационной деятельностью подразделений железнодорожного транспорта в [14], в общих чертах согласуются между собой и содержат схожие позиции, а также в целом отвечают основным принципам концепции устойчивого развития.

Проведенные теоретические исследования могут способствовать формированию новой модели хозяйствования, соответствующей целям и принципам устойчивого развития.

Выводы

Проведенный анализ позволяет выделить в качестве основных направлений повышения эффективности функционирования подразделений железнодорожного транспорта с позиции устойчивого развития формирование ресурсосберегающих технологий функционирования, комплексную оценку экологической составляющей процессов функционирования и ее учет в задачах формирования ресурсосберегающих технологий, а также учет социальной составляющей процессов функционирования подразделений железнодорожного транспорта.

Для успешного развития транспортной отрасли необходимо перейти от концепции адаптации и выживания к концепции устойчивого развития.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ

1. Бараш, Ю. С. Роль залізничного транспорту України в забезпеченні сталого розвитку суспільства / Ю. С. Бараш, І. П. Корженевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 24. – С. 201–206.
2. Бобылев, С. Н. Индикаторы устойчивого развития: региональное измерение : пособие по регион. эколог. политике / С. Н. Бобылев. – М. : Акрополь, 2007. – 60 с.
3. Жаркова, Н. Ю. Планирование развития структурного подразделения железной дороги (станции) : автореф. дисс. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Жаркова Наталья Юрьевна ; Самар. гос. акад. путей сообщения, Ин-т упр. на трансп. гос. ун-та упр. – Новгород, 2003. – 23 с.
4. Кочнева, Д. И. Повышение эффективности функционирования региональной контейнерной транспортно-логистической системы : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Кочнева Дарья Ивановна ; Уральский гос. ун-т путей сообщений. – Екатеринбург, 2012. – 26 с.
5. Куделя, В. І. Шляхи підвищення ефективності роботи залізничного транспорту в умовах ринкової економіки : дис. ... канд. экон. наук : 08.07.04 / Куделя Вікторія Іванівна ; Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Х., 2006. – 379 с.
6. Кузина, Е. Л. Управление развитием системы природопользования на железнодорожном транспорте для обеспечения эколого-экономической безопасности урбанизированных территорий : дис. ... докт. экон. наук : 08.00.05 / Кузина Елена Леонидовна ; Рост. гос. стр. ун-т. – Ростов н/Д., 2012. – 353 с.
7. Ломотько, Д. В. Формування транспортного процесу залізниць України на базі логістичних принципів : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.22.01 / Ломотько Денис Вікторович ; Укр. держ. ак. залізн. трансп. – Х., 2008. – 39 с.
8. Офіційний сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://www.uz.gov.ua/press_center/latest_news/archive/main_2011/242866/ – Загл. с экрана.
9. Панова, Н. В. Повышение эффективности работы структурных подразделений железнодорожного транспорта на основе совершенствования системы экономических нормативов на предприятиях железной дороги : дисс. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Панова Наталья Валерьевна ; Сибир. гос. ун-т. путей сообщ. – Новосибирск, 2001. – 169 с.
10. Пасічник, В. І. Економічна стратегія розвитку експлуатаційної діяльності залізничного транспорту : автореф. дис. ... докт. экон. наук : 08.07.04 / Пасічник Володимир Іларіонович ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2004. – 25 с.
11. Родионов, Е. Т. Повышение эффективности работы железнодорожного транспорта на основе разработки новых технологий управления ресурсами предприятий : дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Родионов Евгений Тимофеевич ; Сибир. гос. ун-т. путей сообщ. – Новосибирск, 2005. – 132 с.
12. Сергієнко, М. М. Системно-ситуаційне управління витратами локомотивного господарства залізничного транспорту : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.07.04 / Сергієнко Марина Миколаївна ; Київський ун-т економ. і технологій трансп. – К., 2006. – 22 с.
13. Сталый розвиток транспорту і пасажирські перевезення у дальньому сполученні / О. М. Пшінько, Ю. С. Бараш, Н. І. Верхоглядова та ін. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 22. – С. 254–257.
14. Стасишен, М. Проблеми управління інноваційним розвитком залізничного транспорту України [Електронний ресурс] / М. Стасишен, О. Ярмоліцька. – Режим доступа: <http://gisap.eu/ru/node/243>. – Загл. с экрана.
15. Чеховська, М. М. Організаційно-економічний механізм удосконалення природоохоронної діяльності на залізничному транспорті України : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.08.01 / Чеховська Марія Миколаївна ; Нац. акад. наук України. – К., 2003. – 22 с.
16. Элагин, Ю. В. Механизм обеспечения устойчивого развития: проблемы и задачи / Ю. В. Элагин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41 – С. 258–260.
17. Abdallah, Kh. B. Indicators for sustainable energy development: A multivariate cointegration and causality analysis from Tunisian Road Transport Sector [Електронний ресурс] / Khaled Ben Abdallah., Mounir Belloumi, Daniel De Wolf // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – September. – 116 p. – Режим доступа: http://staging.wider.unu.edu/climate2012/sites/default/files/Belloumi_0.pdf. – Загл. с экрана.
18. Deakin, M. Sustainable urban development: Use of the environmental assessment methods [Електронний ресурс] / Mark Deakin, Alasdair Reid // Sustainable Cities and Society. – 2014. – February. – P. 39–48. – Режим доступа : <http://researchrepository.napier.ac.uk/6811/>. – Загл. с экрана.
19. Gonzalez-Gil, A. Sustainable urban rail systems: Strategies and technologies for optimal manage-

ment of regenerative braking energy [Электронный ресурс] / Arturo Gonzalez-Gil, Roberto Palacin, Paul Batty // Energy Conversion and Management. – 2013. – November. – 405 p. –

Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890413003518>. – Загл. с экрана.

О. І. ХАРЧЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 85 95, ел. пошта kharchenko-o@mail.ru, ORCID 0000-0003-2068-0640

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІДРОЗДІЛІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ З ПОЗИЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Мета. Сучасні транспортні системи не є стійкими та не здатні протидіяти дестабілізуючим факторам. Світовою тенденцією в управлінні економічними господарчими системами є використання концепції сталого розвитку. У роботі необхідно на основі аналізу літературних джерел визначити напрямки для вирішення задач підвищення ефективності функціонування підрозділів залізничного транспорту з позиції сталого розвитку. **Методика.** Для досягнення поставленої мети було досліджено особливості використання концепції сталого розвитку та її реалізації при управлінні складними системами, а також проведено аналіз існуючих моделей в області підвищення ефективності функціонування підрозділів залізничного транспорту. **Результати.** На основі проведеного аналізу літературних джерел, зберігаючи зміст поняття «сталий розвиток», були встановлені основні напрямки підвищення ефективності функціонування підрозділів залізничного транспорту, які враховують вимоги сталого розвитку та повинні розглядатися як комплекс заходів. **Наукова новизна.** Автором запропоновано основні напрямки розгляду питання щодо підвищення ефективності з позиції сталого розвитку, тобто три складові концепції сталого розвитку (економічна, екологічна та соціальна) необхідно розглядати збалансовано. Таким чином, проведене теоретичне дослідження сприяє формуванню нової моделі господарювання, яка відповідає меті та принципам сталого розвитку. **Практична значимість.** Аналіз розробок підтверджує необхідність проведення досліджень за перспективними напрямками розвитку підрозділів залізничного транспорту, які зазначені керівництвом Укрзалізниці. Це дає змогу виділити основні напрямки для подальшого дослідження в області підвищення ефективності функціонування підрозділів залізничного транспорту.

Ключові слова: залізничний транспорт; підвищення ефективності; функціонування залізничного транспорту; сталий розвиток; складні системи; підрозділи залізничного транспорту

О. І. KHARCHENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Management of Operational Work», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, e-mail kharchenko-o@mail.ru, ORCID 0000-0003-2068-0640

RESEARCH OF APPROACHES TO INCREASE THE EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF RAILWAY TRANSPORT SUBDIVISIONS FROM THE POINT OF VIEW OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Purpose. Modern transport systems are not stable and can not stand up to the destabilizing factors. Global track record in the economic and commercial management systems is the use of the concept of sustainable development. It is necessary on the basis of analysis of literary sources to define the directions of efficiency increase of functioning of railway transport subdivisions from the point of view of sustainable development. **Methodology.** To achieve the purpose the features of the use of sustainable development conception and its realization were investigated at a management of the complex systems. The existent models were also analyzed in the field of efficiency increase of functioning of railway transport subdivisions. **Findings.** On the basis of literary sources analysis, keeping up the conceptual essence of the sustainable development, the main directions of efficiency increase of subdivisions func-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

tioning were selected. They take into account the basic requirements of steady development and should be considered as a complex. **Originality.** New directions to consider the efficiency increase issues from position of sustainable development were offered by the author. Three components of conceptions of sustainable development (economic, ecological and social) should be examined in a balanced way. Thus, the above mentioned theoretical studies can promote the forming of new economy model corresponding to the purposes and principles of sustainable development. **Practical value.** The conducted analysis development confirms the necessity of researches on perspective directions of development of railway transport subdivisions, which are marked by the guidance of Ukrzaliznytsia. It enables to select basic directions for further research in the area of efficiency increase.

Keywords: railway transport; efficiency increase; railway transport functioning; sustainable development; complex systems; railway transport subdivisions

REFERENCES

1. Barash Yu.S., Korzhenevych I.P. Rol zaliznychnoho transportu Ukrainy v zabezpechenni staloho rozvytku suspilstva [Role of railway transport in the providing of stable development of the society]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 24, pp. 201-206.
2. Bobylev S.N. *Indikatory ustoychivogo rozvitiya: regionalnoye izmereniye: posobiye po regionalnoy ekologicheskoy politike* [Indicators of sustainable development: regional measurement: textbook on the regional ecological politics]. Moscow, Akropol Publ., 2007. 60 p.
3. Zharkova N.Yu. *Planirovaniye rozvitiya strukturnogo podrazdeleniya zheleznoy dorogi (distsantsii)*. Avtoreferat Diss. [Planning of the development of railway (distance) structural subdivision. Author's abstract]. Novgorod, 2003. 23 p.
4. Kochneva D.I. *Povysheniye effektivnosti funktsionirovaniya regionalnoy konteynernoy transportno-logisticheskoy sistemy*. Avtoreferat Diss. [Efficiency increase of functioning of the regional container logistic system. Author's abstract]. Yekaterinburg, 2012. 26 p.
5. Kudelia V.I. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti roboty zaliznychnoho transportu v umovakh rynkovoï ekonomiky*. Kand, Diss. [Ways of efficiency increase of the railway transport operation in the conditions of market economics. Cand. Diss.]. Kharkiv, 2006. 379 p.
6. Kuzina Ye.L. *Upravleniye rozvitiyem sistemy prirodopolzovaniya na zheleznodorozhnom transporte dlya obespecheniya ekologo-ekonomicheskoy bezopasnosti urbanizirovannykh territoriy*. Dokt, Diss. [Control of the system of the natural management on railway transport to provide the ecological-economic safety of the urban territories. Doct. Diss.]. Rostov on Don, 2012. 353 p.
7. Lomotko D.V. *Formuvannia transportnoho protsesu zaliznyts Ukrainy na bazi lohistychnykh pryntsypiv*. Avtoreferat Diss. [Formation of transport process of Ukrainian railways on the basis of logistic principles. Author's abstract]. Kharkiv, 2008. 39 p.
8. *Ofitsiyni sait Ukrzaliznytsi* (Official site of Ukrzaliznytsia). Available at: http://www.uz.gov.ua/press_center/latest_news/archive/main_2011/242866/ (Accessed 15 May 2014).
9. Panova N.V. *Povysheniye effektivnosti raboty strukturnykh podrazdeleniy zheleznodorozhnogo transporta na osnove sovershenstvovaniya sistemy ekonomicheskikh normativov na predpriyatiyakh zheleznoy dorogi*. Kand, Diss. [Efficiency increase of the operation of structural subdivisions of railway transport on the basis of improvement of the economic norm system on the railway transport enterprises. Cand. Diss.]. Novosibirsk, 2001. 169 p.
10. Pasichnyk V.I. *Ekonomichna stratehiia rozvytku ekspluatatsiinoi diialnosti zaliznychnoho transportu*. Avtoreferat Diss. [Economic strategy of the operational activity development of the railway transport. Author's abstract.]. Dnipropetrovsk, 2004. 25 p.
11. Rodionov Ye.T. *Povysheniye effektivnosti raboty zheleznodorozhnogo transporta na osnove razrabotki novykh tekhnologiy upravleniya resursami predpriyatiy*. Kand, Diss. [Efficiency increase of the railway transport operation on the basis of development of the new management technologies of the resources of enterprises. Cand. Diss.]. Novosibirsk, 2005. 132 p.
12. Serhiienko M.M. *Systemno-sytuatsiine upravlinnia vytratamy lokomotyvnoho hospodarstva zaliznychnoho transportu*. Avtoreferat Diss. [System-situational management of the expenses of locomotive economy of railway transport. Author's abstract.]. Kyiv, 2006. 22 p.
13. Pshinko O.M., Barash Yu.S., Verkhohliadova N.I., Korzhenevych I.P., Lohvynenko A.V., Loboiko L.M. *Stalyi rozvytok transportu i pasazhyrski perevezennia u dalnomu spoluchenni* [Sustainable transport progress

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

- and passenger transportations in the further traffic]. *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 22, pp. 254-257.
14. Stasyshen M., Yarmolitska O. *Problemy upravlinnia innovatsiynym rozvytkom zaliznychnoho transportu Ukrainy* (Management problems of the innovation development of the railway transport of Ukraine). Available at: <http://gisap.eu/ru/node/243> (Accessed 15 May 2014).
 15. Chekhovska M.M. *Orhanizatsiino-ekonomichniy mekhanizm udoskonalennia pryrodookhoronnoi diialnosti na zaliznychnomu transporti Ukrainy*. Avtoreferat Diss. [Organizational-economic mechanism of improvement of nature protection activity on the railway transport of Ukraine. Author's abstract.]. Kyiv, 2003. 22 p.
 16. Yelagin Yu.V. Mekhanizm obespecheniya ustoychivogo rozvitiya: problemy i zadachi [Mechanism for sustainable development: questions and tasks]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 258-260.
 17. Abdallah Khaled Ben, Belloumi Mounir, Wolf De Daniel. Indicators for sustainable energy development: A multivariate cointegration and causality analysis from Tunisian Road Transport Sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, September, pp. 116. Available at: http://staging.wider.unu.edu/climate2012/sites/default/files/Belloumi_0.pdf (Accessed 17 May 2014).
 18. Deakin Mark, Reid Alasdair. Sustainable urban development: Use of the environmental assessment methods. *Sustainable Cities and Society*, 2014, February, pp. 39-48. Available at: <http://researchrepository.napier.ac.uk/6811/> (Accessed 17 May 2014).
 19. Gonzalez-Gil Arturo, Palacin Roberto, Batty Gonzalez-Gil A. Paul. Sustainable urban rail systems: Strategies and technologies for optimal management of regenerative braking energy. *Energy Conversion and Management*, 2013, November, pp. 405. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890413003518> (Accessed 17 May 2014).

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Д. Н. Козаченко (Украина); д.т.н. Е. С. Алешинским (Украина)

Поступила в редколлегию: 30.05.2014

Принята к печати: 21.07.2014

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

UDC [51-74:629.48:656.4]

M. I. KAPITSA¹, T. S. HRYSHECHKINA^{2*}

¹Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine, tel. +38 (0562) 33 19 61, e-mail dnuzt@diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3800-2920

^{2*}Dep. «Higher Mathematics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine, tel.+38 (0562) 36 26 04, e-mail gitann@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1570-4150

RATIONAL RECOVERY MODEL OF DEPOT PROCESSING EQUIPMENT AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

Purpose. The problem of the maximum resources recovery of rolling stock repair depot of industrial enterprise with limited resources consumption, which are used in the system is today's topical question. The main factors that affect the repair depot operation of industrial enterprise are reviewed. The most significant factors, affecting the quality of the repair depot, are emphasized for further study, specifically - the state of the major repair equipment of a sector. There is a need to minimize the impact of the unsatisfactory state of this factor. **Methodology.** The formed task of major equipment rational repairing in the mathematical sense is based on the solution of a vector optimization problem. In this case the target functions are the monetary funds spending and time expenditure for repairing. **Findings.** The mathematical model of optimal equipment maintainability of the repair department at the industrial enterprise was developed by the authors. On the example the choice model of optimal path for equipment repairing of enterprise repair department is described. **Originality.** As a result of the conducted research the repairing system of major equipment of industrial enterprise sectors was improved. As the mathematical model of rational system recovery of industrial enterprise repair depot we recommend apparatus of class problems of vector optimization. **Practical value.** Using the proposed model of major equipment repair system of the repair depot at the industrial enterprise will improve the quality of the department by increasing the efficiency of primary resources - time and monetary funds - which are spent by the sector in order to repair its techniques.

Keywords: industrial transport; repair system; mathematical modeling; system analysis; vector optimization

Introduction

The major task of the industrial enterprise repair depot is ensuring maximum resource recovery of rolling stock with limited resources consumption that are used in the system [3, 6].

The following factors affect essentially the work of industrial enterprise repair section:

- Existing park units state of rolling stock [4];
- State of repair equipment sector [10];
- Planning and regulation system of repairs [7];
- Accounting procedure of materials and spares use [11].

Many different types of locomotives and cars that are operated, outdated methods of repairs planning and regulation, transparent accounting of materials lead to unproductive work of a repair sector. This is, in turn, affects the effectiveness of an enterprise performance as a whole [9]. And one of the most important factors determining the performance quality of a repair sector is its workability of major repair equipment.

Purpose

The aim of this work is search and investigation of new methods and ways in order to improve

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

workability of major repair equipment of a repair sector in the industrial enterprise.

Operable technical state depends on the quality and speed of its failures removal that occur during operation of the equipment [13].

Let us consider the case when a repair shop does not perform repair at a prescribed time due to equipment failure [1]. There is a problem of finding a rational way of restoring its workability. That is, the repair shop equipment of a depot at the industrial enterprises needs to be recovered as quickly as possible and with minimal expenditure of money [2]. This statement leads us to the following problem of vector optimization:

$$\begin{pmatrix} T(\gamma) \\ C(\gamma) \end{pmatrix} \rightarrow \min, \quad (1)$$

where γ – is a method of (trajectory, plan) the equipment repairing; $T(\gamma)$ – is time expenditure for the equipment repairing; $C(\gamma)$ – is funds expenditure.

Methodology

We will discuss in more detail the problem (1) in the case of failure of a stand for armature shaft inspection of the traction motor (TM) (see Fig. 1). Function of the stand is to control the armature shaft of TM for transversal and longitudinal cracks.

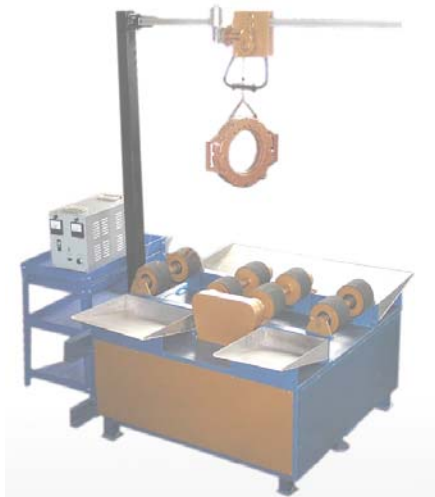


Fig. 1. Stand for armature shaft inspection of TM

Stand functionality:

- setting two TM armatures on a stand;
- identification of transversal and longitudinal cracks of the TM armature shaft;

– mechanical shaft rotation of TM armature on track roller.

In case of the stand failure the plan concerning its repair will include several stages (phases):

$$\gamma = [v_1, v_2, \dots, v_n],$$

where v_i – is the set of activities on the i stage; n – total number of repair stages.

That is, for the stand of armature shaft inspection of TM sequence γ may have the following form: v_1 – failure identification and preparation of equipment for the repair; v_2 – dismantling; v_3 – repair; v_4 – mounting; v_5 – testing and launch.

At the each stage there is a plurality of actions that can be performed:

$$v_i = \{w_1, w_2, \dots, w_{k(i)}\}.$$

Each of these actions is characterized as follows: $t(w_j)$ – time expenditure under the implementation w_j ; $c(w_j)$ – funds expenditure under the implementation w_j .

Total time and overhaul cost are determined depending on the choice of action at each stage of repair:

$$T(\gamma) = \sum_{i=1}^n \sum_{w_j \in v_i} t(w_j),$$

$$C(\gamma) = \sum_{i=1}^n \sum_{w_j \in v_i} c(w_j).$$

The number of options N for repairing depends on the number of stages and activities at each stage:

$$N = \prod_{i=1}^n k_i,$$

where k_i – the number of operations on the i stage.

So a problem of the vector optimization (1) assumes the following form:

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \sum_{w_j \in v_i} t(w_j) \\ \sum_{i=1}^n \sum_{w_j \in v_i} c(w_j) \end{pmatrix} \rightarrow \min.$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Solving problem (1) we mean finding such sets of repair options that each of its elements (a repair plan γ) will be effective so each pair γ_1 and γ_2 from this set are not comparable among themselves [5].

A repair plan γ is called effective, when any variation of it leads to increase one of the parameters (e.g. cost) and decrease the other (in this case, the runtime of repair).

Two sets γ_1 and γ_2 are not comparable, if there are at least two indexes from (1) such that one index is better (bigger) in terms of repair γ_1 , and the other is better under γ_2 .

A necessary and sufficient condition for the repairing plan effectiveness γ is described in [1] and is as follows. If there is any additional value of the coefficient λ at each stage of repair one should choose measures accordingly to conditions:

$$\sum_{w_j \in v_i} c(w_j) + \lambda \sum_{w_j \in v_i} t(w_j) = \min_{1 \leq j \leq k(i)}, i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Coefficient λ can be interpreted as a kind of «scales» that determine the importance of this or that index.

For example, if $\lambda = 0$ condition has the following view:

$$\sum_{w_j \in v_i} c(w_j) = \min_{1 \leq j \leq k(i)}.$$

This means that the company strives to minimize funds that are spent for repair. Time expenditure is not taken into account.

When $\lambda \rightarrow \infty$ condition has the following form:

$$\sum_{w_j \in v_i} t(w_j) = \min_{1 \leq j \leq k(i)}.$$

That is, in this case a priority during the repairing is time of its conducting.

Thus, going over meanings $\lambda \in [0, \infty)$, we obtain parametric identification of effective repairing plans.

Findings

On the base on the proposed mathematical apparatus we will consider the following example.

Let the stand for armature shaft inspection of TM is in non-working state. We will divide its repair plan for five consecutive stages or phases. (Fig. 2).



Fig. 2. Schematic representation of the phases

The first stage is fault identification and preparation of the stand for repair. We select three options for preparing. The second stage is the dismantling. The next stage is directly repair. It can be conducted with five different modes, each of them differ by runtime and expences. The phase of mounting and debugging are the next. The last stage is testing and launch. Schematic representation of the repair trajectory is shown on Fig. 3.

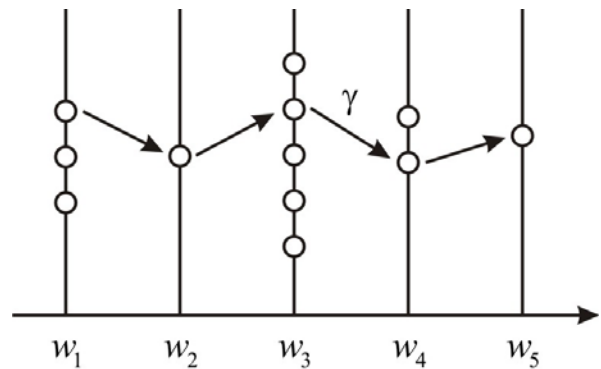


Fig. 3. Schematic representation of trajectory

Time and funds expenditures for each option at each stage are determined with an expert manner. Obtained data are represented as follows. Matrix spending funds:

$$CI := \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 & 0 & 0 \\ 4 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 10 & 4 & 20 & 50 \\ 17 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 5 & 9 & 15 & 0 \end{bmatrix}.$$

Matrix time expenditure:

$$TI := \begin{bmatrix} 7 & 5 & 3 & 0 & 0 \\ 4 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 4 & 3.5 & 3 & 2.5 \\ 1.7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 3 & 2.1 & 1.5 & 0 \end{bmatrix}.$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

In this case the total number of options for the stand repair is:

$$N = \prod_{i=1}^5 k_i = 120.$$

View of all options for repairing in space of functionals is presented in Fig. 4.

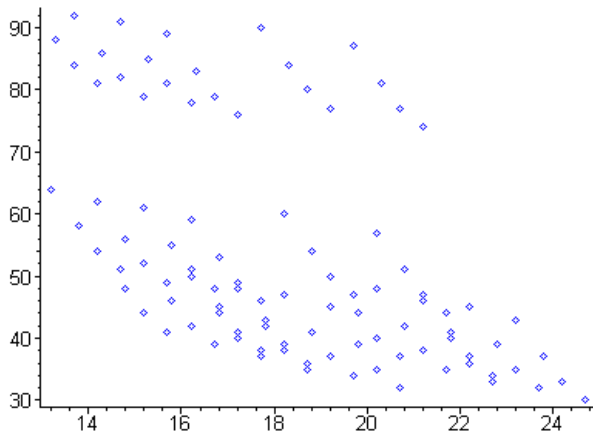


Fig. 4. Dependence of time expenditure for the repairing. Axis OX - time expenditure in hours. Axis SO - funds expenditure in UAH.

Graphical interpretation of the obtained results is shown in Fig. 5.

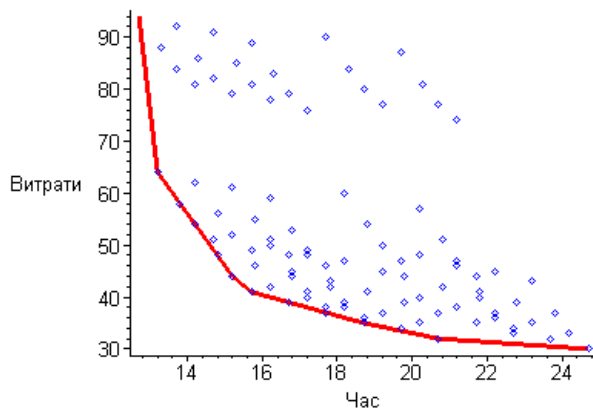


Fig. 5. Best options for repairing

Using the mathematical model described above, we will find the best options for repairing:

$$[w_{1,1}, w_{2,1}, w_{3,1}, w_{4,1}, w_{5,1}], 30, 24.7$$

$$[w_{1,2}, w_{2,1}, w_{3,1}, w_{4,1}, w_{5,1}], 32, 20.7$$

$$[w_{1,2}, w_{2,2}, w_{3,1}, w_{4,1}, w_{5,1}], 35, 18.7$$

$$[w_{1,3}, w_{2,2}, w_{3,3}, w_{4,1}, w_{5,1}], 41, 15.7$$

$$[w_{1,3}, w_{2,2}, w_{3,3}, w_{4,1}, w_{5,2}], 44, 15.2$$

$$[w_{1,3}, w_{2,2}, w_{3,4}, w_{4,1}, w_{5,4}], 64, 13.2$$

$$[w_{1,3}, w_{2,2}, w_{3,5}, w_{4,1}, w_{5,4}], 94, 12.7$$

Calculations are performed in the Maple mathematical package of symbolic computation.

Originality and practical value

The system of major equipment repair of a repair sector has been improved by solving the problem of vector optimization for rational repairing. In this case, the target functions are the monetary funds and time for repairing that a sector spends for repairing of their equipment.

Using the proposed model of rational repairing will improve the quality of a sector by increasing the efficiency of primary resources - time and funds - which a sector spends for repairing of their technical means.

Conclusions

The proposed model will provide the repair depot of industrial enterprises to higher levels of its functioning efficiency and reduce the resource intensity of its operation. Using the proposed method of the equipment efficient recovery, a repair depot of the industrial enterprise is able to distribute time and funds efficiently to carry out restoration works. This in turn will reallocate the enterprises savings.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М. : Наука, 1978. – 400 с.
2. Войнов, К. И. Прогнозирование надежности механических систем / К. И. Войнов. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1978. – 208 с.
3. Капіца, М. І. Розвиток наукових основ удосконалення систем утримування тягового рухомого складу : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.22.07 / Капіца Михайло Іванович; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – 40 с.
4. Логистика ремонта железнодорожного подвижного состава / С. Н. Корнилов, А. Н. Рахмангулова, Е. П. Дудкин, А. А. Горшенин. – Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2005. – 182 с.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

5. Мямлин, В. В. Обоснование алгоритма решения задачи векторной оптимизации по двум показателям при выборе гибкой технологии ремонта вагонов / В. В. Мямлин, А. А. Босов, С. В. Мямлин // Вісн. Днепропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2011. – Вип. 36. – С. 54–57.
6. Нагорний, Є. В. Оцінка економічної ефективності вдосконалення системи транспортного обслуговування вантажовласників у транспортних вузлах / Є. В. Нагорний, Т. В. Столяр // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Вып. 23. – 2008. – С. 31–34.
7. Нагорний, Е. В. Методика определения дополнительных платежей за сокращение времени нахождения грузов в транспортных узлах / Е. В. Нагорный, Т. В. Столяр // Актуал. вопр. упр. процессами перевозок на трансп. : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. – Алма-Ата : КазАТК, 2007. – Том 2. – С. 9–14.
8. Прохоров, Г. В. Пакет символьных вычислений Maple V / Г. В. Прохоров, М. А. Леденев, В. В. Колбеев. – М. : Компания «Петит», 1997. – 200 с.
9. Саркисян, С. А. Анализ и прогноз развития больших технических систем / С. А. Саркисян, В. М. Ахундов, Э. С. Минаев. – М. : Наука, 1982. – 280 с.
10. Ящура, А. И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования : справ. / А. И. Ящура. – М. : ЭНАС, 2006. – 320 с.
11. Giua, A. Modeling and supervisory control of railway networks using Petri nets / A. Giua, C. Seatzu // IEEE Trans. on Automation Science and Engineering. – 2008. – Vol. 5, № 3. – P. 431–445. doi: 10.1109/TASE.2008.916925.
12. Richard, Klima E. Applications of Abstract Algebra with Maple / Klima E. Richard, Neil Sigmon, Ernest Stitzinger // London : CRC Press LLC, 1999. – 250 p.
13. Szymanski, Z. Modern Predictive Diagnostic Method of Induction Traction Motor Based on FEM, BEM / Z. Szymanski // Computer Technology and Application. – 2012. – № 3. – P. 678–684.

М. І. КАПЦА¹, Т. С. ГРИШЕЧКИНА^{2*}

¹Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 33 19 61, ел. пошта dnuzt@diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3800-2920

^{2*}Каф. «Вища математика», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 36 26 04, ел. пошта gitann@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1570-4150

МОДЕЛЬ РАЦІОНАЛЬНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЕПО ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Мета. Особливо актуальним на сьогодні є питання забезпечення максимального відновлення ресурсів рухомого складу ремонтного депо промислового підприємства при обмеженому розході ресурсів, які використовуються в системі. Розглядаються основні чинники, які впливають на роботу ремонтного підрозділу промислового підприємства. Серед них для подальшого дослідження виділяються найбільш вагомі фактори, які впливають на якість роботи ремонтного депо – стан основного ремонтного обладнання підрозділу. Виникає необхідність мінімізувати вплив незадовільного стану даного чинника. **Методика.** Запропонована задача раціонального проведення ремонту основного обладнання ремонтного підрозділу в математичному плані базується на розв'язанні задачі векторної оптимізації. Цільовими функціями в даному випадку приймаються витрати коштів на проведення ремонтних робіт та час проведення ремонту обладнання. **Результати.** Авторами розроблено математичну модель оптимального відновлення працездатності основного обладнання ремонтного підрозділу промислового підприємства. На прикладі описується модель вибору оптимальних шляхів проведення ремонту обладнання ремонтного підрозділу підприємства. **Наукова новизна.** У результаті проведеного дослідження удосконалено систему проведення ремонту основного обладнання підрозділів промислового підприємства. В якості математичної моделі раціонального відновлення системи ремонту депо промислового підприємства запропоновано апарат задач класу векторної оптимізації. **Практична значимість.** Використання запропонованої моделі системи ремонту основного обладнання ремонтного депо промислового підприємства дозволить підвищити якість роботи підрозділу шляхом збільшення ефективності використання основних ресурсів – часу та коштів, – які підрозділ витрачає на проведення ремонту своїх технічних засобів.

Ключові слова: промисловий транспорт; система ремонту; математичне моделювання; системний аналіз; векторна оптимізація

М. И. КАПИЦА¹, Т. С. ГРИШЕЧКИНА^{2*}

¹Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 33 19 61, эл.почта dnuzt@diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3800-2920

^{2*}Каф. «Высшая математика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 36 26 04, эл.почта gitann@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1570-4150

МОДЕЛЬ РАЦИОНАЛЬНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЕПО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Цель. Особенно актуальным сегодня является вопрос обеспечения максимального восстановления ресурсов подвижного состава ремонтного депо промышленного предприятия при ограниченном расходе ресурсов, которые используются в системе. Рассмотрены основные факторы, влияющие на работу ремонтного отдела промышленного предприятия. Среди них для дальнейшего исследования выделяются наиболее значимые факторы, влияющие на качество работы ремонтного депо – состояние основного ремонтного оборудования подразделения. Возникает необходимость в минимизации влияния неудовлетворительного состояния данного фактора. **Методика.** Сформированная задача рационального проведения ремонта основного оборудования отдела в математическом плане базируется на решении задачи векторной оптимизации. Целевыми функциями в данном случае являются затраты денежных средств на проведение ремонтных работ и затраты времени. **Результаты.** Авторами разработана математическая модель оптимального восстановления работоспособности оборудования ремонтного отдела промышленного предприятия. На примере описана модель выбора оптимальных путей проведения ремонта оборудования ремонтного отдела предприятия. **Научная новизна.** В результате проведенного исследования усовершенствованы система проведения ремонта основного оборудования подразделений промышленного предприятия. В качестве математической модели рационального восстановления системы ремонта депо промышленного предприятия предложен аппарат задач класса векторной оптимизации. **Практическая значимость.** Использование предложенной модели системы ремонта основного оборудования ремонтного депо промышленного предприятия позволит повысить качество работы отдела путем увеличения эффективности использования основных ресурсов – времени и денежных средств, – которые подразделение тратит на проведение ремонта своих технических средств.

Ключевые слова: промышленный транспорт; система ремонта; математическое моделирование; системный анализ; векторная оптимизация

REFERENCES

1. Buslenko N.P. *Modelirovaniye slozhnykh system* [Modeling of complex systems]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 400 p.
2. Voynov K.I. *Prognozirovaniye nadezhnosti mekhanicheskikh system* [Reliability prediction of mechanical systems]. Leningrad, Mashinostroeniye Publ., 1978. 208 p.
3. Kapitsa M.I. *Rozvytok naukovykh osnov udoskonalennia system utrymuvannia tiahovoho rukhomoho skladu*. Avtoreferat Diss. [Scientific bases development of retention systems improvement of traction rolling stock. Author's abstract]. Dnipropetrovsk, 2010. 40 p.
4. Kornilov S.N., Rakhmangulova A.N., Dudkin Ye.P., Gorshenin A.A. *Logistika remonta zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava* [Repair logistics of railway rolling stock]. Magnitogorsk, MGTU im. G. I. Nosova Publ., 2005. 182 p.
5. Myamlin V.V., Bosov A.A., Myamlin S.V. *Obosnovaniye algoritma resheniya zadachi vektornoj optimizatsii po dvum pokazatelyam pri vybore gibkoy tekhnologii remonta* [Algorithm justification for solving the vector optimization problem upon two indexes when selecting flexible technology of a repair]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2001, issue 36, pp. 54-57.
6. Nahornyi Ye.V., Stoliar T.V. *Otsinka ekonomichnoi efektyvnosti vdoskonalennia systemy transportnoho obsluhovuvannia vantazhovlasnykiv u transportnykh vuzlakh* [Economic efficiency evaluation of a transport

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- service system of freight owners in transport hubs]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2008, no. 23, pp. 31-34.
7. Nahornyi Ye.V., Stoliar T.V. Metodika opredeleniya dopolnitelnykh platezhey za sokrashcheniye vremeni nakhozheniya gruzov v transportnykh uzlakh [Method of determining the additional payments for reducing time spent of cargo in transport units]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktualnyye voprosy upravleniya protsessami perevozok na transporte»* [Proc. of the Int. Scientific and Practical Conf. «Actual issues of transportation process control on the transport»]. Alma-Ata, 2007, vol. 2, pp. 9-14.
 8. Prokhorov G.V., Ledenev M.A., Kolbeyev V.V. *Paket simvolnykh vychisleniy Maple V* [Package of symbolic computation Maple]. Moscow, Kompaniya «Petit» Publ., 1997. 200 p.
 9. Sarkisyan S.A., Akhundov V.M., Minayev E.S. *Analiz i prognoz razvitiya bolshikh tekhnicheskikh sistem* [Analysis and projection of large technical systems development]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 280 p.
 10. Yashchura A.I. *Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta obshchepromyshlennogo oborudovaniya* [Maintenance and repair system of the general industrial equipment]. Moscow, ENAS Publ., 2006. 320 p.
 11. Giua A., Seatzu C. Modeling and supervisory control of rail-way networks using Petri nets. *IEEE Trans. on Automation Science and Engineering*, 2008, vol. 5, no. 3, pp. 431-445. doi: 10.1109/TASE.2008.916925.
 12. Klima Richard E., Sigmon Neil, Stitzinger Ernest. Applications of Abstract Algebra with Maple. CRC Press LLC, 1999. 250 p.
 13. Szymanski Z. Modern Predictive Diagnostic Method of Induction Traction Motor Based on FEM, BEM. *Computer Technology and Application*, 2012, no. 3, pp. 678-684.

Prof. V. V. Artemchuk, D. Sc. (Tech.); Prof. A. V. Sokhatskyi, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published

Received: Apr. 24, 2014

Accepted: June 17, 2014

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.423.31-048.24

А. М. АФАНАСОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Электроподвижной состав железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, эл. почта afanasof@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-2361

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ВЗАИМНОГО НАГРУЖЕНИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА МАГИСТРАЛЬНОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА

Цель. Системы взаимного нагружения используются для проведения послеремонтных приемо-сдаточных испытаний тяговых двигателей электроподвижного состава (ЭПС) магистрального и промышленного транспорта. Целью данного исследования является обоснование метода выбора рациональных параметров взаимного нагружения тяговых электрических двигателей при их испытании на нагрев. **Методика.** В основе обоснования принципа выбора рациональных параметров взаимного нагружения тяговых электродвигателей лежит теория нагревания однородного твердого тела и известные методы тепловых расчетов тяговых электромашин. **Результаты.** Обоснована целесообразность проведения испытаний тяговых электрических двигателей на нагрев при токах нагрузки, равных пусковому току (для ЭПС магистрального транспорта) или пятнадцатиминутному току (для ЭПС промышленного транспорта). Показано, что такое увеличение тока нагрузки позволит снизить расходы электроэнергии на испытания на 20–30 % и сократить длительность испытаний в три–четыре раза при обеспечении минимума приведенной мощности источников питания системы взаимного нагружения. **Научная новизна.** Показано, что энергетические затраты на проведение испытаний тяговых двигателей на нагрев могут быть снижены как за счет повышения энергетической эффективности системы взаимной нагрузки, так и путем оптимизации режима нагружения тяговых электромашин. Обоснована методика выбора рациональных режимов взаимного нагружения тяговых двигателей электроподвижного состава магистрального и промышленного транспорта. **Практическая значимость.** Повышение тока нагрузки тяговых электрических двигателей при их испытании на нагрев позволит снизить общий расход электроэнергии на проведение приемо-сдаточных испытаний, снизить время проведения испытаний и суммарные материальные затраты на ремонт тяговых двигателей электроподвижного состава магистрального и промышленного транспорта.

Ключевые слова: электроподвижной состав; тяговый двигатель; взаимное нагружение; испытание на нагрев; энергетическая эффективность; ток нагрузки; рациональность; тепловые характеристики

Введение

Снижение расхода электроэнергии на проведение приемо-сдаточных послеремонтных испытаний тяговых электромашин является одной из актуальных проблем на предприятиях по ремонту тягового подвижного состава магистрального и промышленного транспорта. Испытания на нагрев тяговых электромашин на

стенде взаимной нагрузки [4] являются наиболее энергоемкой частью всей программы испытаний. Энергетические затраты на проведение данного вида испытаний могут быть снижены как за счет повышения энергетической эффективности системы взаимной нагрузки, так и путем оптимизации режима нагружения тяговых электромашин [11–13].

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Цель

Целью данного исследования – обоснование метода выбора рациональных параметров взаимного нагружения тяговых электрических двигателей при их испытании на нагрев.

Методика

Режим нагружения тяговых электромашин при испытании на нагрев характеризуется такими параметрами как [3]:

- напряжение на коллекторе;
- ток нагрузки;
- коэффициент ослабления поля;
- расход охлаждающего воздуха.

Рассмотрим каждый из этих параметров с точки зрения возможности их влияния на рациональность режима нагружения тяговых электромашин при их испытании. В качестве критериев рациональности будем рассматривать:

- минимум суммарной приведенной мощности источников испытательного стенда;
- максимум энергетической эффективности процесса испытания;
- максимум качества испытаний.

Напряжение на коллекторе. По требованиям ГОСТ 2582-81 [3] испытания на нагрев тяговых электродвигателей необходимо проводить при номинальном напряжении. При этом частота вращения испытуемых на стенде взаимной нагрузки тяговых электромашин определяется током нагрузки и их электромеханическими характеристиками. При отклонении реальных магнитных характеристик испытуемых электромашин от типовой магнитной характеристики их частоты вращения при номинальном напряжении будут отличаться от значения, соответствующего (по типовой электромеханической характеристике) номинальному или часовому току.

Результаты исследований, проведенных в работе [1], показывают, что изменения испытательного напряжения в узких пределах ($\pm 5\%$) не оказывают заметного влияния на характер протекания тепловых процессов в обмотках испытуемых электромашин. Следовательно, при проведении испытания на нагрев нет необходимости в жесткой стабилизации испытательного напряжения на уровне номинального значения. Более рациональным с точки зрения управляемости системы взаимного нагружения

будет стабилизация частоты вращения якорей испытуемых электромашин на значении, соответствующем току нагрузки электромашин по ее типовой электромеханической характеристике.

С другой стороны, обеспечение величины напряжения на коллекторе, близкого к номинальному значению, при проведении испытания на нагрев является условием качественной проверки потенциальных условий на коллекторе и устойчивости против дугообразования. Таким образом, испытательное напряжение не может рассматриваться как параметр, варьированием которого можно влиять на рациональность режима испытания.

По сути, требование к напряжению на коллекторе испытуемой тяговой электромашин является ограничением в задаче выбора рационального режима нагружения.

Коэффициент ослабления поля. Как по требованиям ГОСТ 2582-81, так и с точки зрения обеспечения качества испытаний на нагрев коэффициент ослабления поля при проведении данного испытания должен быть равным номинальному значению. При выполнении проверки коммутации коэффициент ослабления поля должен быть принят минимальным, что обусловлено требованиями к качеству данной проверки [3, 10].

Требование к значению коэффициента ослабления поля, как и требование к испытательному напряжению, является ограничением в задаче выбора рационального режима нагружения.

Расход охлаждающего воздуха. Как ГОСТ 2582-81 [3], так и правила ремонта тяговых электромашин [10] допускают при согласовании с заказчиком проведение испытаний на нагрев при расходе охлаждающего воздуха, меньшем номинального, в том числе, и без вентиляции. При этом эквивалентные значения тока нагрузки испытуемых электромашин устанавливаются меньше часового и длительного токов. Это обусловлено нагреванием частей испытуемой электромашин за один час времени испытания до значений превышения температуры, соответствующих данному превышению в номинальном режиме [6].

Экономический эффект от внедрения такого метода испытания на нагрев обуславливается экономией электроэнергии, расходуемой на вентиляцию и отсутствием необходимости наличия вентиляционной системы на испыта-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

тельной станции. Следует отметить, что испытание на нагрев без вентиляции еще и повышает энергетическую эффективность нагревания обмоток электромашин за счет снижения энергии теплоотдачи [2].

Существенным недостатком испытания на нагрев без вентиляции является отсутствие проверки эффективности охлаждения частей электромашин, которая определяется мощностью теплоотдачи. При таком методе испытания малое влияние на характер теплообменных процессов оказывают тепловые сопротивления конвективной и кондуктивной теплоотдачи, а также аэродинамическое сопротивление электромашин [5, 9]. Все это приводит к снижению качества испытаний на нагрев.

Еще одним существенным недостатком испытания на нагрев без вентиляции, снижающим качество испытания, является работа испытуемых электромашин при эквивалентных токах, значительно меньших часового и длительного тока электромашин. При таких условиях нагружения снижается качество проверки устойчивости против дугообразования в течение испытания на нагрев. Несмотря на то, что целью испытаний на нагрев является определение превышения температуры частей тяговой электромашин, определенная часть случаев браковки тяговых двигателей связана как раз с появлением кругового огня во время данного испытания.

Возможным преимуществом проведения испытания на нагрев без вентиляции могла бы быть меньшая приведенная суммарная мощность источников испытательного стенда [7, 8], но ГОСТом 2582-81 [3] предусмотрена проверка коммутации, для которой требуется возможность установления тока нагрузки нагретых электромашин, равным пусковому току. Следовательно, в диапазоне изменения от нуля до пускового значения величина тока нагрузки, выбираемая для проведения испытания на нагрев, на величину суммарной приведенной мощности источников испытательного стенда не влияет.

Ток нагрузки. По требованиям ГОСТ 2582-81 [3] ток нагрузки электромашин при испытании на нагрев должен быть принят равным часовому значению. При этом и ГОСТ 2582-81 [3], и правила ремонта тяговых электромашин [10] допускают проведение испытания при эквива-

лентных токах, дающих превышения температур обмоток электромашин, соответствующих длительному режиму [6].

Одним из критериев выбора рационального режима нагружения тяговых электромашин при их испытании на нагрев является максимум коэффициента энергетической эффективности процесса нагревания обмоток электромашин. Как показали результаты предварительных исследований [2], величина тока нагрузки существенно влияет на энергетическую эффективность испытания на нагрев и общий расход электроэнергии на данное испытание. Проведем анализ выражения для коэффициента энергетической эффективности процесса нагревания $k_{эфн}$, определяющего общий расход электроэнергии на испытания [2].

$$k_{эфн} = \frac{T_3 \tau_1}{\tau_\infty (t_1 + \alpha(\tau_\infty t_1 - \tau_1 T_3))}, \quad (1)$$

где T_3 – эквивалентная постоянная времени нагревания; τ_1 – превышение температуры обмотки в конце испытания; τ_∞ – установившееся превышение температуры; t_1 – время испытания на нагрев; α – температурный коэффициент сопротивления.

Время проведения испытаний на нагрев определяется формулой [6]

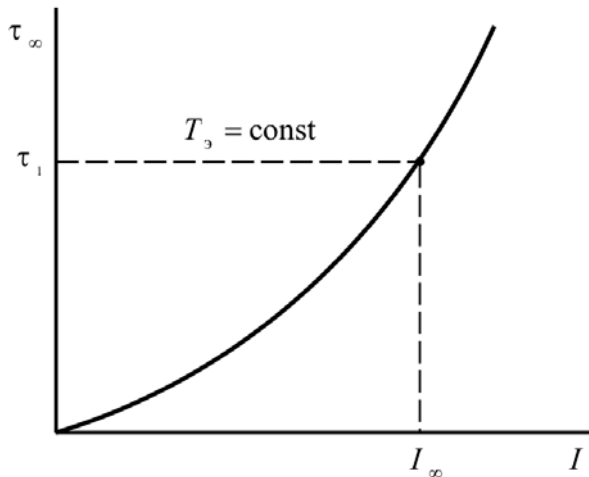
$$t_1 = T_3 \ln \frac{\tau_\infty}{\tau_\infty - \tau_1}. \quad (2)$$

Значение превышения температуры τ_1 в соответствии с ГОСТ 2582-81 [3] принимается равным максимально допустимому значению, соответствующему классу нагревостойкости изоляции и части электрической машины (якорь, полюса). Для большинства типов тяговых электромашин лимитирующей по нагреву является обмотка якоря [9], поэтому в дальнейшем будем рассматривать превышение температуры именно этой обмотки. Общий подход к выбору рационального режима нагружения тяговых двигателей, для которых лимитирующими являются обмотки возбуждения, будет аналогичным.

В формуле (1) параметрами, определяющими критерий энергетической эффективности $k_{эфн}$, являются значения τ_∞ и T_3 . Эквивалент-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

ная постоянная времени T_3 для тяговых двигателей электровозов и тяговых агрегатов может приниматься постоянной и независимой от тока нагрузки. А установившееся превышение температуры τ_∞ является функцией тока нагрузки, которую можно считать известной для каждого типа тягового двигателя [5]. Характер такой зависимости приведен на рис. 1.

Рис. 1. Характер зависимости $\tau_\infty(I)$ Fig. 1. Type of the dependence $\tau_\infty(I)$

Из анализа формул (1) и (2) можно сделать вывод, что при токе нагрузки I , для которого $\tau_\infty(I) < \tau_1$, время испытания t_1 стремится к бесконечности, а коэффициент энергетической эффективности $k_{\text{эфн}}$ равен нулю.

Условие $\tau_\infty(I) < \tau_1$ соответствует неравенству

$$I < I_\infty,$$

где I_∞ – длительный ток тягового электродвигателя (рис. 1).

Тогда будет иметь место выражение

$$t_1 \rightarrow \infty, k_{\text{эфн}} = 0 \text{ при } I < I_\infty.$$

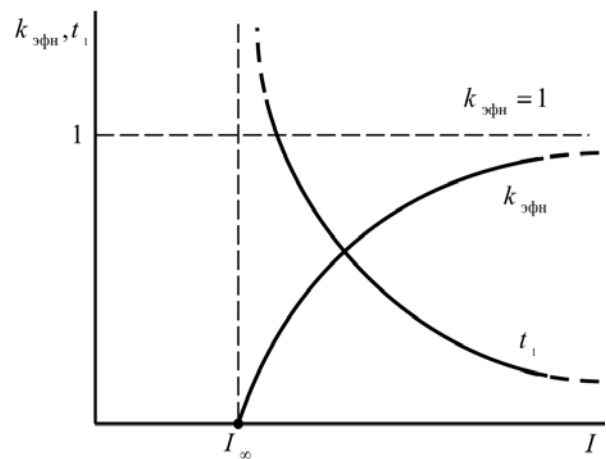
При росте тока нагрузки I и соответствующем росте превышения температуры τ_∞ время испытания t_1 уменьшается, а коэффициент энергетической эффективности $k_{\text{эфн}}$ увеличивается.

При стремлении значений I и τ_∞ к бесконечности время испытания t_1 стремится к нулю, а коэффициент энергетической эффектив-

ности $k_{\text{эфн}}$ – к единице. Прямая линия $k_{\text{эфн}} = 1$ является асимптотой для характеристики $k_{\text{эфн}}(I)$.

$$\lim_{I \rightarrow \infty} t_1 = 0; \lim_{I \rightarrow \infty} k_{\text{эфн}} = 1.$$

Характеры зависимостей $k_{\text{эфн}}(I)$ и $t_1(I)$ графически представлены на рис. 2.

Рис. 2. Характеры зависимостей $k_{\text{эфн}}(I)$ и $t_1(I)$ Fig. 2. Types of the dependences $k_{\text{эфн}}(I)$ and $t_1(I)$

Другим критерием рациональности режима нагружения является минимум суммарной приведенной мощности источника испытательного стенда. Этот же критерий должен быть использован при выборе рациональных схем нагружения испытуемых электромашин. Наиболее целесообразным с точки зрения минимума суммарной приведенной мощности источников испытательного стенда является использование одного источника. При использовании одного источника расхождение магнитных характеристик испытуемых электромашин на величину максимальной приведенной мощности источника не влияет. Тогда максимальная приведенная мощность источника испытательного стенда

$$\sum \bar{p}_n = \frac{2}{\eta}(1-\eta), \quad (3)$$

где η – к. п. д. испытуемых электромашин.

К. п. д. испытуемых электромашин является функцией тока нагрузки и максимален для большинства тяговых двигателей в точке, соответствующей длительному режиму [5, 9]. Каче-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

ственно характеристика $\eta(I)$ приведена на рис. 3. На этом же рисунке качественно показан характер зависимости $\sum \bar{p}_{и}(I)$, который соответствует выражению (3).

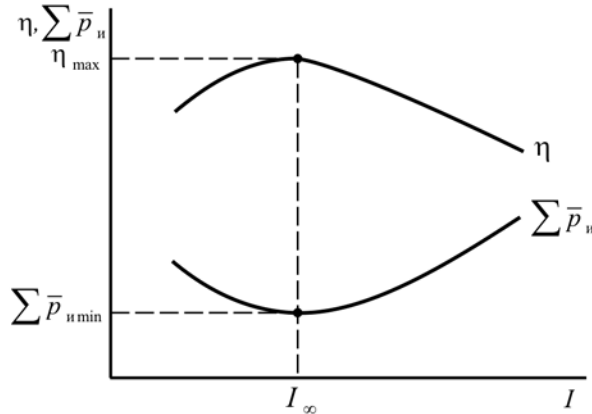


Рис. 3. Характеры зависимостей $\eta(I)$ и $\sum \bar{p}_{и}(I)$

Fig. 3. Types of the dependences $\eta(I)$ and $\sum \bar{p}_{и}(I)$

Результаты

Из рис. 3 видно, что зависимость $\sum \bar{p}_{и}(I)$ на интервале изменения тока нагрузки $I \in [I_{\infty}; \infty)$ – монотонно возрастающая. То есть, увеличение тока нагрузки I при испытании ведет к возрастанию $\sum \bar{p}_{и}$.

На рис. 4 на одной координатной плоскости качественно показаны зависимости двух показателей рациональности режима испытания, $k_{эфн}$ и $\sum \bar{p}_{и}$, от тока нагрузки I . Из графиков (рис. 4) видно, что в диапазоне изменения тока нагрузки $I \in [I_{\infty}; \infty)$ улучшение одного из показателей приводит к ухудшению другого. Уменьшение приведенной мощности источника приводит к уменьшению энергетической эффективности и наоборот.

Минимально допустимым значением приведенной мощности является $\sum \bar{p}_{и}(I_{пущк})$. Это обусловлено необходимостью проверки коммутации при пусковом токе. Таким образом, диапазон изменения тока I , в котором следует искать рациональное его значение, может быть представлен в виде

$$I \in [I_{пущк}; \infty).$$

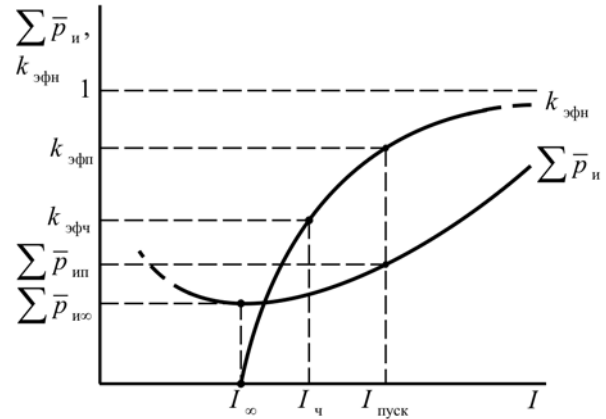


Рис. 4. Определение рационального тока нагрузки

Fig. 4. Determination of rational load current

Анализ зависимостей $k_{эфн}(I)$, полученных для реальных типов тяговых электродвигателей [2], показывает, что увеличение тока нагрузки от часового до пускового значения приводит к повышению $k_{эфн}$ приблизительно в 1,5 раза.

Время проведения испытания на нагрев при пусковом токе нагрузки уменьшается почти в три раза в сравнении с часовым режимом.

Дальнейшее повышение тока нагрузки, например, до $2I_{ч}$, приводит к незначительному росту $k_{эфн}$ и существенному увеличению $\sum \bar{p}_{и}$. С данной точки зрения наиболее рациональным будет значение тока нагрузки при испытании на нагрев, равное пусковому току

$$I_{рац} = I_{пущк}.$$

При испытании на нагрев тяговых двигателей электроподвижного состава промышленного транспорта (тяговых агрегатов) наиболее рациональным будет значение тока нагрузки, соответствующее пятнадцатиминутному режиму, который для данного типа тяговых двигателей является типовым параметром

$$I_{рац} = I_{15}.$$

Научная новизна и практическая ценность

Показано, что энергетические затраты на проведение испытаний тяговых двигателей на нагрев могут быть снижены как за счет повышения энергетической эффективности системы

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

взаимной нагрузки, так и путем оптимизации режима нагружения тяговых электромашин. Обоснована методика выбора рациональных режимов взаимного нагружения тяговых двигателей электроподвижного состава магистрального и промышленного транспорта.

Повышение тока нагрузки тяговых электрических двигателей при их испытании на нагрев позволит снизить общий расход электроэнергии на проведение приемо-сдаточных испытаний, снизить время проведения испытаний и суммарные материальные затраты на ремонт тяговых двигателей электроподвижного состава магистрального и промышленного транспорта.

Выводы

Наиболее целесообразным является проведение испытаний тяговых электрических двигателей на нагрев при токах нагрузки, равных пусковому току (для ЭПС магистрального транспорта), или пятнадцатиминутному току (для ЭПС промышленного транспорта). Использование таких токов нагрузки тяговых двигателей позволит снизить расходы электроэнергии на их испытания на 20–30 % и сократить длительность испытаний в три – четыре раза при обеспечении минимума приведенной мощности источников питания системы взаимного нагружения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Афанасов, А. М. Качественный анализ электрических и магнитных потерь в якорях тяговых электрических машин постоянного тока / А. М. Афанасов // *Вісн. НТУ «ХП»*. – Х., 2010. – № 36. – С. 13–18.
- Афанасов, А. М. Энергетическая эффективность нагревания обмоток тяговых электромашин при приемо-сдаточных испытаниях / А. М. Афанасов // *Восточно-европ. журн. передовых технологий*. – 2012. – № 5/8 (59). – С. 6–9.
- ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. – Введ. 1983-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 34 с.
- Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин / Г. К. Жерве. – Л. : Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
- Захарченко, Д. Д. Тяговые электрические машины : учеб. пособие для вузов / Д. Д. Захарченко, Н. А. Ротанов. – М. : Транспорт, 1991. – 343 с.
- Лоза, П. О. Визначення еквівалентного струму навантаження при випробовуванні тягових електродвигунів на нагрівання без вентиляції / П. О. Лоза, Л. В. Дубинець, Д. В. Устименко // *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. – Д., 2008. – Вип. 25. – С. 26–29.
- Лоза, П. О. Покращення енергетичних властивостей стенда для випробувань колекторних тягових двигунів локомотивів / П. О. Лоза // *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. – Д., 2008. – Вип. 22. – С. 69–71.
- Лоза, П. О. Покращення енергетичних та інших показників приймально-здавальних випробувань тягових двигунів електровозів / П. О. Лоза // *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. – Д., 2009. – Вип. 27. – С. 81–83.
- Магистральные электровозы. Тяговые электрические машины / В. И. Бочаров, Г. В. Василенко, А. Л. Курочка, В. П. Янов. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 464 с.
- Правила ремонту электрических машин электровозів і електропоїздів. ЦТ-0204. – К. : Вид. дім «САМ», 2012. – 286 с.
- Castaneda, C. E. Discrete-Time Neural Sliding-Mode Block Control for a DC Motor With Controlled Flux / C. E. Castaneda, A. G. Loukianov, E. N. Sanchez // *IEEE Transactions. Industrial Electronics*. – 2012. – Vol. 9. – Iss. 2. – P. 1194–1206. doi: 10.1109/tie.2011.2161246.
- El Hayek, J. Experiences with a traction drive laboratory model / J. El Hayek, T. J. Sobczyk, G. Skarpetowski // *Electromotion*. – 2010. – Vol. 17. – Iss. 1. – P. 30–36.
- Liu, Y. Developments in Switching Mode Supply Technologies / Y. Liu, W. Eberle // *IEEE Canadian Review. Switching Mode Power Supplies*. Fall. – 2009. – № 61. – P. 9–14.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

А. М. АФАНАСОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта afanasof@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-2361

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ВЗАЄМНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ МАГІСТРАЛЬНОГО ТА ПРОМИСЛОВОГО ТРАНСПОРТУ

Мета. Системи взаємного навантаження використовуються для проведення післяремонтних приймально-здавальних випробувань тягових двигунів електрорухомого складу (ЕРС) магістрального та промислового транспорту. Метою даного дослідження є обґрунтування методу вибору раціональних параметрів взаємного навантаження тягових електричних двигунів при їх випробуванні на нагрів. **Методика.** В основі обґрунтування принципу вибору раціональних параметрів взаємного навантаження тягових електродвигунів лежить теорія нагрівання однорідного твердого тіла та відомі методи теплових розрахунків тягових електромашин. **Результати.** Обґрунтовано доцільність проведення випробувань тягових електричних двигунів на нагрів при струмах навантаження, рівних пусковому струму (для ЕРС магістрального транспорту) або п'ятнадцятихвилинному (для ЕРС промислового транспорту). Показано, що таке збільшення струму навантаження дозволить знизити витрати електроенергії на випробування на 20–30 % і скоротити тривалість випробувань у тричотири рази при забезпеченні мінімуму приведеної потужності джерел живлення системи взаємного навантаження. **Наукова новизна.** Показано, що енергетичні витрати на проведення випробувань тягових двигунів на нагрів можуть бути знижені як за рахунок підвищення енергетичної ефективності системи взаємного навантаження, так і шляхом оптимізації режиму навантаження тягових двигунів електрорухомого складу магістрального та промислового транспорту. **Практична значимість.** Підвищення струму навантаження тягових електричних двигунів при їх випробуванні на нагрів дозволить знизити загальну витрату електроенергії на проведення приймально-здавальних випробувань, знизити час проведення випробувань і сумарні матеріальні витрати на ремонт тягових двигунів електрорухомого складу магістрального та промислового транспорту.

Ключові слова: електрорухомий склад; тяговий двигун; взаємне навантаження; випробування на нагрів; енергетична ефективність; струм навантаження; раціональність; теплові характеристики

А. М. AFANASOV^{1*}

^{1*}Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail afanasof@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-2361

RATIONAL MODES DETERMINATION OF TRACTION MOTORS LOADING-BACK FOR ELECTRIC ROLLING STOCK IN MAINLINE AND INDUSTRIAL TRANSPORT

Purpose. Loading-back systems are used for post-maintenance acceptance tests of electric traction motors of electric rolling stock (ERS) in mainline and industrial transport. The aim of the research is justification of choice method of the rational loading-back parameters of traction electric motors during the tests for heating. **Methodology.** At the heart of the choice method justification of the rational loading-back parameters is a theory of heating the homogeneous solid body and well-known methods of heating calculations of traction electric machines. **Findings.** Expediency of heating tests for electric traction motors at load currents equal to the starting current (for ERS of mainline transport) or fifteen minutes current (for ERS of industrial transport) was substantiated. It was shown that this increase of load current will reduce the electricity costs of the tests for 20–30% and shorten the tests duration for three–four times while ensuring the corrected power minimum of energy sources in loading-back system. **Originality.** It is shown that the energy costs for heating tests of the traction motors can be reduced by both the increasing the energy efficiency of the loading-back system and by the optimizing of loading mode of traction electric machines. Choice technique of rational modes of loading-back for electric traction motors of rolling stock in mainline and industrial transport was grounded.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Practical value. Load current increase of traction electric motors during their tests for heating will reduce the total electricity consumption for the acceptance tests, reduce test time and total material costs for repair of the electric traction motors of rolling stock in mainline and industrial transport.

Keywords: electric rolling stock; traction motor; loading-back; test for heating; energy efficiency; load current; rationality; thermal characteristics

REFERENCES

1. Afanasov A.M. Kachestvennyy analiz elektricheskikh i magnitnykh poter v yakoryakh tyagovykh elektricheskikh mashin postoyannogo toka [Quality analysis of electric and magnetic losses in the anchors of traction electric machines of direct current]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut»* [Bulletin of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»], 2012, no. 36, pp. 13-18.
2. Afanasov A.M. Energeticheskaya effektivnost nagrevaniya obmotok tyagovykh elektromashin pri priyemodatoknykh ispytaniyakh [The energy efficiency of the heating of electric traction coverings in acceptance tests]. *Vostochno-yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – Eastern-European Journal of High Technologies*, 2012, no. 5/8 (59), pp. 6-9.
3. GOST 2582-81. *Mashiny elektricheskoye vrashchayushchiesya tyagovyye. Obshchiye tekhnicheskoye usloviya* [State Standard 2582-81. Rotating electrical machines for rail and road vehicles. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1981. 34 p.
4. Zherve G.K. *Promyshlennyye ispytaniya elektricheskikh mashin* [Industrial tests of electrical machines]. Leningrad, Energoatom Publ., 1984. 408 p.
5. Zakharchenko D.D., Rotanov D.D. *Tyagovyye elektricheskoye mashiny* [Traction electric machines]. Moscow, Transport Publ., 1991. 343 p.
6. Loza P.O., Dubynets L.V., Ustymenko D.V. Vyznachennia ekvivalentnoho strumu navantazhennia pry vyprovovuvanni tiahovykh elektrovyhuniv na nahrivannia bez ventilyatsii [Determination of equivalent current load under traction motors tests for heating without ventilation]. *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. 26–29.
7. Loza P.O. Pokrashchennia enerhetychnykh vlastyvoستي stenda dlia vyprovovan kolektornykh tiahovykh dvyhuniv lokomotyviv [Improvement of energy properties for testing stand of locomotive commutator of traction motors]. *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 22, pp. 69-71.
8. Loza P.O. Pokrashchennia enerhetychnykh ta inshykh pokaznykiv pryimalno-zdavalnykh vyprovovan tiahovykh dvyhuniv elektrovoziv [Energy and other performances improvement in acceptance tests of electric locomotives traction motors]. *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. 81-83.
9. Bocharov V.I., Vasilenko G.V., Kurochka A.L., Yanov V.P. *Magistralnyye elektrovozy. Tyagovyye elektricheskoye mashiny* [Mainline electric locomotives. Traction electric machines]. Moscow, Energoatom Publ., 1992. 464 p.
10. *Pravyly remontu elektrychnykh mashyn elektrovoziv i elektrovozdiv. TsT-0204* [Rules for repair of electric machines of electric locomotives and electric trains. TsT-0204]. Kyiv, Vydavnychi dim «SAM», 2012. 286 p.
11. Castaneda C.E., Loukianov A.G., Sanchez E.N. Discrete-Time Neural Sliding-Mode Block Control for a DC Motor with Controlled Flux. *IEEE Transactions. Industrial Electronics*, 2012, vol. 59, issue 2, pp. 1194-1206. doi: 10.1109/tie.2011.2161246.
12. El Hayek J., Sobczyk T. J., Skarpetowski G. Experiences with a traction drive laboratory model. *Electromotion*, 2010, vol. 17, issue 1, pp. 30-36.
13. Liu Y., Eberle W. Developments in Switching Mode Supply Technologies. *IEEE Canadian Review. Switching Mode Power Supplies. Fall*, 2009, no. 61, pp. 9-14.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Г. К. Гетьманом (Украина), д.т.н., проф. Ф. П. Шкрабцом (Украина)

Поступила в редколлегию: 03.04.2014

Принята к печати: 23.05.2014

УДК [621.331: 621.311.4]: 004.896

О. О. МАТУСЕВИЧ^{1*}

^{1*}Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 793 19 17, ел. пошта al_m0452@meta.ua, ORCID 0000-0002-2174-7774

СУЧАСНІ ПІДХОДИ З ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ОБЛАДНАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ НА ОСНОВІ SMART-ТЕХНОЛОГІЙ

Мета. На етапі модернізації та реконструкції електрифікованих залізниць України необхідно врахувати рівень інноваційного розвитку всіх суб'єктів електропостачання на основі передових технологій. У роботі потрібно визначити шляхи підвищення надійності електропостачання електрифікованих залізниць та зниження аварійності силового устаткування тягових підстанцій (ТП). **Методика.** Для досягнення поставленої мети проведено дослідження світового досвіду з питань якісного вирішення проблем електропостачання залізниць на основі ідеології Smart Grid. Проведено дослідження основних методів технічного обслуговування й ремонту (ТО та Р) і діагностування пристроїв ТП електрифікованих залізниць. **Результати.** У результаті дослідження встановлено, що в основі нових методів ТО та Р лежить аналіз ризиків експлуатації старого устаткування або устаткування з певними дефектами (обслуговування устаткування за фактичним технічним станом). Також встановлено, що концептуальні визначення Smart Grid вказують на важливу роль інтелектуальної мережі в технологічному й економічному розвитку системи електропостачання. Значний світовий досвід застосування ТО й Р за фактичним технічним станом показує наступну узагальнену оцінку ефективності даного методу: зниження витрат на обслуговування на 75 %; зниження кількості обслуговувань на 50 %; зниження числа відмов на 70 % за перший рік роботи. **Наукова новизна.** В результаті дослідження та удосконалення системи ТО й Р тягових підстанцій, автором запропоновано концепцію інтелектуальної системи ТО й Р, моніторингу та діагностування обладнання ТП. Визначено основні складові цієї системи. Запропоновано експлуатаційне обслуговування устаткування ТП за фактичним технічним станом із можливістю більш якісного використання ресурсу обладнання. В Інструкції з технічного обслуговування й ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення та секціонування електрифікованих залізниць «ЦЕ-0024» такий підхід із організації та проведення ТО й Р ТП не розглядається. **Практична значимість.** Впровадження даної системи дозволяє: підвищити основні показники системи ТО й Р; знизити витрати на експлуатацію силового устаткування ТП за рахунок застосування ТО й Р за фактичним технічним станом; підвищити надійність обладнання ТП і системи електропостачання електрифікованих залізниць; отримати економічний ефект тощо.

Ключові слова: електропостачання; електрифіковані залізниці; модернізація; реконструкція; Smart Grid; тягова підстанція; обладнання; ТО й Р; діагностування; надійність; система; моніторинг; фактичний технічний стан

Вступ

На етапі модернізації і реконструкції електрифікованих залізниць України необхідно врахувати рівень інноваційного розвитку всіх суб'єктів електропостачання на основі передових технологій. Наприклад, в Європі, США цей термін має досить конкретне значення: це електричні мережі, оснащені в необхідній мірі сучасними засобами телекомунікації, що забезпечують двосторонні взаємодії всіх учасників виробництва, розподілу і споживання електроенергії. Концептуальне визначення Smart Grid

вказує на важливу роль інтелектуальної мережі на технологічному, економічному і екологічному розвитку системи електропостачання. В цей час активно реалізується низка проектів побудови гнучкої електричної мережі [11, 13, 16–18]:

– проект «FENIX» (Flexible Electricity Networks to Integrate the expected Energy Evolution). Передбачає створення гнучкої електричної мережі, основними цілями якої є: розробка механізмів функціонування загальноєвропейської енергосистеми, зокрема розробка концепції віртуальних електростанцій (VPP); розробка

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

алгоритмів ввімкнення в загальну систему розподілених джерел генерації (DER) і поновлюваних джерел енергоресурсів (RES); розробка нових програмно-апаратних платформ для втілення в життя концепції VPP; техніко-економічне обґрунтування застосування VPP; демонстрація розробок на полігонах в Іспанії і Великобританії. Цей проект об'єднав провідних гравців європейського енергетичного ринку, таких як: Iberdrola, Electricite de France, EDF Energy Networks, Red Electrica de Espana, National Grid Transco, Siemens PSE, Areva T&D і ін.;

– проект «ADDRESS» (Active Distribution network with full integration of Demand and distributed energy RESourceS). Даний проект є складовою частиною європейської концепції мереж майбутнього Smart Grids European Technology Platform і об'єднує роботу 25 компаній з 11 країн Європи, включаючи EDF, ABB, Enel, Kema, Philips і ін.;

– проекти побудови Microgrids окремих енергомережових структур, що розташовані на невеликій території, мають власні генеруючі джерела і здатні взаємодіяти з центральною мережею для вирішення завдань покриття максимуму пікових навантажень. Проекти успішно реалізуються в Європі (консорціум 14 компаній з 7 країн на чолі з Національним технологічним університетом Афін (NTUA)), США (проекти реалізуються консорціумом CERTS, компанією GE), Канаді, Японії;

– проект побудови інтелектуальної енергетичної інфраструктури (розподілена генерація, поновлювані джерела енергії, засоби акумуляції енергії, центри диспетчерського управління) в трьох префектурах Японії, що реалізується компанією Mitsubishi Electric.

Як бачимо, технології інтелектуальних мереж Smart Grid охоплюють різні аспекти розвитку системи електропостачання, у тому числі управління і моніторинг стану електротехнічного устаткування електрифікованих залізниць, і які можна описати такими ознаками [7, 10]:

– підвищення надійності електропостачання залізниць і безвідмовності роботи системи електропостачання;

– підвищення ефективності витрати енергоресурсів зі збереженням необхідних параметрів якості електричної енергії;

– управління і моніторинг стану електротехнічного устаткування тягових підстанцій (ТП);

– перехід на технічне обслуговування і ремонт електротехнічного устаткування ТП по фактичному технічному стану;

– велика кількість датчиків, які вимірюють поточні режимні параметри для оцінювання стану ТП в різних режимах роботи електропостачання;

– система збору і обробки даних (високо інтегровані комплекси оперативного управління в режимі реального часу з врахуванням експертних розрахункових систем ухвалення рішень), а також засоби управління активними елементами системи тягового електропостачання і нетягових споживачів;

– наявність приладів і механізмів, які дозволяють в режимі реального часу змінювати топологічні параметри системи електропостачання;

– засоби автоматичної оцінки поточної ситуації і побудови прогнозів роботи ТП;

– висока швидкодія автоматизованої системи управління електропостачання, інформаційного обміну;

– створення високонадійних магістральних каналів зв'язку управління і дубльованих цифрових каналів обміну інформацією між об'єктами ТП і диспетчерським управлінням.

Мета

Виходячи з вищевозглянутого, метою статті є аналіз світового досвіду управління і моніторинг стану силового обладнання ТП електрифікованих залізниць. Пошук нових більш сучасних методів і підходів підвищення надійності електропостачання електрифікованих залізниць та зниження аварійності силового устаткування ТП.

Методика

Теоретичною базою дослідження стали публікації, які присвячені дослідженню світового досвіду з питань якісного вирішення проблем електропостачання залізниць на основі ідеології Smart Grid. Виконано дослідження основних методів технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) та діагностування пристроїв ТП електрифікованих залізниць.

Утримання технічного обладнання залізничного транспорту на високому експлуатаційному рівні неможливе без об'єктивної інформації про його фактичний стан. Об'єкти залізничного

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

транспорту містять велику кількість пристроїв, тривала експлуатація яких без належного діагностування технічного стану може призвести до виходу їх з ладу та значному матеріальному збитку. Для реалізації ефективного діагностування цих пристроїв необхідна інтелектуалізація електричних мереж. Під час розробки проектів з інтелектуалізації електричних мереж необхідно враховувати досвід мереж Smart Grid. Управління повинно здійснюватись всією електричною мережею системи електропостачання залізниць, яка зрештою повинна стати повністю автоматичною, а всі наявні автоматизовані системи (АСДУ, АСУТП, системи моніторингу, системи управління даними, системи діагностування, тощо) є лише інструментом для досягнення поставлених цілей. Інтегровані в єдину платформу існуючі автоматизовані інформаційні системи дистанції електропостачання дозволяють по-новому підходити до побудови електричних мереж та контролю їх роботи. Інтелектуальна електрична мережа залежно від умов, що склалися, в автоматичному режимі повинна здійснювати переконфігурацію системи електропостачання з метою досягнення мінімуму витрат енергоресурсів без зниження надійності роботи, у тому числі: управління системою електропостачання дистанції, діагностування стану електротехнічного устаткування ТП і, також, організацію, планування та здійснення технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) обладнання.

Регламентоване обслуговування, що здійснюється згідно з інструкціями на обладнання, в цілому призначене забезпечувати його працездатність. Проте, інколи таке обслуговування призводить до невиправданих витрат, оскільки реальний технічний стан пристрою в момент виконання робіт може і не вимагати технічного обслуговування, а замінені деталі ще не досягли критичної міри зносу. Однак поступове старіння парку устаткування і зниження запасів міцності гостро порушують питання щодо оцінювання його стану і визначення міри ризику його експлуатації за межами нормованого терміну служби. Розвиток вільного ринку електроенергії і збільшення фінансового тиску стали додатковими чинниками, які, з одного боку, максимально підсилюють необхідність продовження термінів служби устаткування, а з іншого – спрямовані на зниження експлуата-

ційних витрат на його технічне обслуговування і ремонти. Необхідність вирішення цього протиріччя приводить щодо формування нового підходу до оцінки стану устаткування.

У основі нових пропонованих методів управління і ухвалення рішень, що формуються в цей час, лежить аналіз ризиків експлуатації старого устаткування або устаткування з певними дефектами (обслуговування устаткування за фактичним технічним станом). Метою ТО і Р за фактичним технічним станом є забезпечення необхідного рівня надійності при зниженні експлуатаційних витрат. При цьому призначають необхідні роботи по ТО і Р залежно від реального технічного стану конкретного об'єкта і передбачуваної зміни його стану в процесі експлуатації. Цей метод полягає в контролі за технічним станом устаткування з використанням сучасних засобів технічної діагностики та виконанням ремонтних робіт лише тоді, коли вони дійсно необхідні, рис. 1.

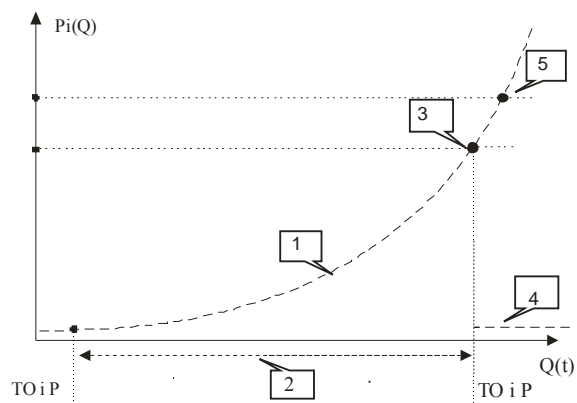


Рис. 1. Обслуговування пристроїв за фактичним технічним станом:

- $P_i(Q)$ – узагальнений показник ресурсу пристрою;
- 1 – зміна технічного стану обладнання пристрою ($Q(t)$);
- 2 – моніторинг та діагностування технічного стану обладнання;
- 3 – передвідмовний стан пристрою;
- 4 – відновлення ресурсу; 5 – відмова пристрою

Fig. 1. Devices service at actual technical state

В результаті виконання безперервної діагностики експлуатованого устаткування можна добитися зниження об'ємів робіт за рахунок систематичного зменшення причин виникнення дефектів.

Накопичений світовий досвід застосування ТО і Р за фактичним технічним станом дозволяє дати таку узагальнену оцінку ефективності цього методу [1, 5]:

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

– зниження витрат на обслуговування на 75 %;
 – зменшення кількості обслуговувань на 50 %;
 – зменшення відмов на 70 % за перший рік роботи.

Порівняльний аналіз різних методів обслуговування устаткування, за даними Асоціації відкритих систем управління інформацією про стан машин «MIMOSA», виявив, що питомі витрати на ТО і Р в енергетичному секторі США склали в 1998 р.:

– 24 \$ на 1 кВт – при функціонуванні устаткування до виходу з ладу;

– 18 \$ на 1 кВт – при ТО і Р на базі планово-запобіжних ремонтів;

– 12 \$ на 1 кВт – при ТО і Р на базі оцінки фактичного стану устаткування.

Інший приклад економічного ефекту від переходу з обслуговування і ремонту за регламентом на ремонт і обслуговування по фактичному стану, за даними фірми «Brueel and Kjaer» (Данія) [6], наведено в табл. 1.

Також під час переходу на технічне обслуговування за фактичним станом в одному лише депо «Московка», Західно – Сибірської залізниці (Росія), отримано економічний ефект в 1,5 млрд руб. [15].

Розглянутий досвід свідчить, що для вирішення проблеми своєчасного відновлення ресурсу та підвищення надійності пристроїв електропостачання залізниць, скорочення витрат, пов'язаних з ремонтом і простоями, необхідно переходити від регламентованого ТО і Р до інтелектуальної системи обслуговування за фактичним технічним станом.

Доцільність розробки проектів з інтелектуалізації електричних мереж дистанції електропостачання, у тому числі і ТП, також підтверджує аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання залізниць України, [2–4]:

– більше половини парку електроустаткування ТП відпрацювала призначений ресурс;

– темпи старіння обладнання ТП вищі за темпи оновлення;

– необхідність економії засобів на технічне обслуговування і ремонт.

Наприклад, на залізницях України тягове електропостачання здійснюється від 305 стаціонарних і пересувних ТП. З них 233 стаціонарних (76,3 % від загальної кількості) і 10 пересувних ТП працюють з терміном служби понад 30 років.

Таблиця 1

Річний економічний ефект від переходу з ТО і Р за регламентом на ТО і Р за фактичним станом

Table 1

The annual economic impact from the TM and R transition according to the regulations to the TM and R on the actual state

Підприємство	Економічний ефект
1	2
Хімічний комбінат (електричні машини)	Зниження числа ТО і Р – з 274 до 14
Нафтопереробний комбінат (ел. обладн.)	Зниження затрат на ТО і Р – на 75 %
Паперова фабрика (електрообладнання)	Економія 250 000 \$, що в 10 разів перекило затрати на закупівлю засобів для моніторингу
Атомна електростанція (електрообладнання)	Економія 3 000 000 \$ – за рахунок зниження витрат на ТО і Р
Залізничний транспорт	Зменшення к-ті ТО і Р на 15 %
Коефіцієнт окупності вкладених коштів	Більше 10 разів

На цей час підтримка необхідної міри надійності енергетичного устаткування в процесі експлуатації забезпечувалося, по перше, за рахунок значних коефіцієнтів запасу, які закладені при його створенні, а з другого боку, системою технічного обслуговування і періодичних ремонтів, яка базується на виконанні планових профілактичних робіт після напрацювання певного часу (система планово-попереджувальних ремонтів).

Згідно з ГОСТ 18322-78 «Система технічного обслуговування і ремонту техніки», система ТО і Р обладнання тягового електропостачання залізниць – це сукупність взаємопов'язаних засобів, документації технічного обслуговування і ремонту та виконавців, необхідних для підтримки і відновлення якості пристроїв, що входять в цю систему. Система ТО і Р включає планування, підготовку, реалізацію технічного обслуговування і ремонту із заданою послідовністю і періодичністю.

В основу діючої системи ТО і Р ТП, згідно з «Інструкцією з технічного обслуговування і ре-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

монту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць» ЦЕ-0024 [9], покладено поєднання технічного обслуговування і планово-попереджувальних ремонтів. Залежно від важливості призначення устаткування в технологічному процесі, планово – попереджувальний ремонт може виконуватися за методом планово – періодичного ремонту і ремонту з технічного стану.

Згідно з вимогами цієї Інструкції (пункт 4.14.7), ремонт обладнання за технічним станом виконується у випадку виявлення під час оглядів несправностей, що загрожують нормальній роботі обладнання, після відмов у роботі обладнання та пристроїв релейного захисту і автоматики (РЗА), пошкодженнях обладнання аварійними струмами, атмосферними і комутаційними впливами, а також у разі виробітку встановленого механічного і комутаційного ресурсу.

Як бачимо, питання визначення фактичного технічного стану обладнання за допомогою діагностування, вимірів, випробувань, тощо – не розглядається, а ТО і Р виконується за фактом пошкодження обладнання, його несправного стану або непрацездатності.

Вище розглянутий закордонний досвід обслуговування за фактичним технічним станом дозволяє, з одного боку, забезпечити працездатність техніки, з іншого – заздалегідь підготуватися до виконання ТО і Р та мінімізувати витрати на нього.

Однак планування ТО і Р пристроїв ТП досить складне у зв'язку з тим, що стан кожного з об'єктів контролюється множиною показників, і по кожному з них повинна розраховуватися дата наступного ТО і Р або іншого виду обслуговування. В існуючій на ТП системі ТО і Р необхідно шукати резерви для скорочення витрат. В цьому напрямі, в першу чергу, згідно з [15], необхідно забезпечити прозорість і обґрунтованість ремонтної програми:

1. Прозорість витрат на ТО і Р – це розуміння того, на що, на які об'єкти і які роботи плануються засоби ремонтного фонду, скільки коштує кожна з цих робіт.

2. Обґрунтованість витрат на ТО і Р – це усвідомлений вибір між витратами на підтримку працездатності устаткування і розміром ризику в разі невиконання ремонту.

Для забезпечення прозорості і обґрунтованості витрат на ТО і Р ТП необхідно:

– впровадити пооб'єктне планування ремонтного фонду;

– прив'язати витрати на ремонт до технічного стану і фактичного завантаження обладнання;

– впровадити оцінку ризику невиконання ремонтів і систему ухвалення рішень на основі ризиків.

Для якісного і ефективного вирішення розглянутих вище проблем та завдань необхідне створення інтелектуальної системи моніторингу і діагностування обладнання ТП [8, 12, 14].

Інтелектуальні системи ТО і Р, моніторингу та діагностування ТП повинні передбачати комплекс організаційних і технічних заходів щодо управління технологічними процесами на ТП, моніторингу і діагностуванню устаткування, плануванню, підготовці і реалізації ТО і Р обладнання ТП за фактичним технічним станом.

Основні концептуальні підходи з вирішення цієї проблеми:

– контроль фактичного стану об'єктів інфраструктури ТП та своєчасна діагностика з використанням інформації різних діагностичних систем;

– аналіз роботи обладнання ТП і дій технічного персоналу відповідно до регламентів для ухвалення управлінських рішень, скорочення часу відновлення і експлуатаційних витрат;

– виконання аналізу ефективності використання діагностичних засобів;

– розробка автоматизованої системи управління ТО і Р ТП, а також автоматизованого робочого місця чергового персоналу ТП (АРМ ТП), з урахуванням таких напрямів: паспортизація обладнання; реєстрація аварійних ситуацій і заявок на обслуговування об'єктів ТП; нормування робіт з ТО і Р; планування матеріалів і запчастин; планування і аналіз витрат на ТО і Р; планування ТО і Р; управління роботами; контроль якості виконаних робіт тощо.

Результати

На основі виконаного аналізу визначено, що в основу нових методів ТО і Р покладено аналіз ризиків експлуатації старого устаткування або устаткування з певними дефектами (обслуговування устаткування за фактичним технічним станом). Також встановлено, що концептуальні визначення Smart Grid вказують на важливу роль інтелектуальної мережі щодо технологічного і економічного розвитку системи електропостачання. Значний світовий досвід застосу-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

вання ТО і Р за фактичним технічним станом на таку узагальнену оцінку ефективності даного методу: зниження витрат на обслуговування на 75 %; зменшення кількості обслуговувань на 50 %; зменшення кількості відмов на 70 % за перший

рік роботи. Також визначені основні складові інтелектуальної системи ТО і Р, моніторингу та діагностування обладнання та ТП електрифікованих залізниць, з урахуванням Smart технологій, які наведені на рис. 2.

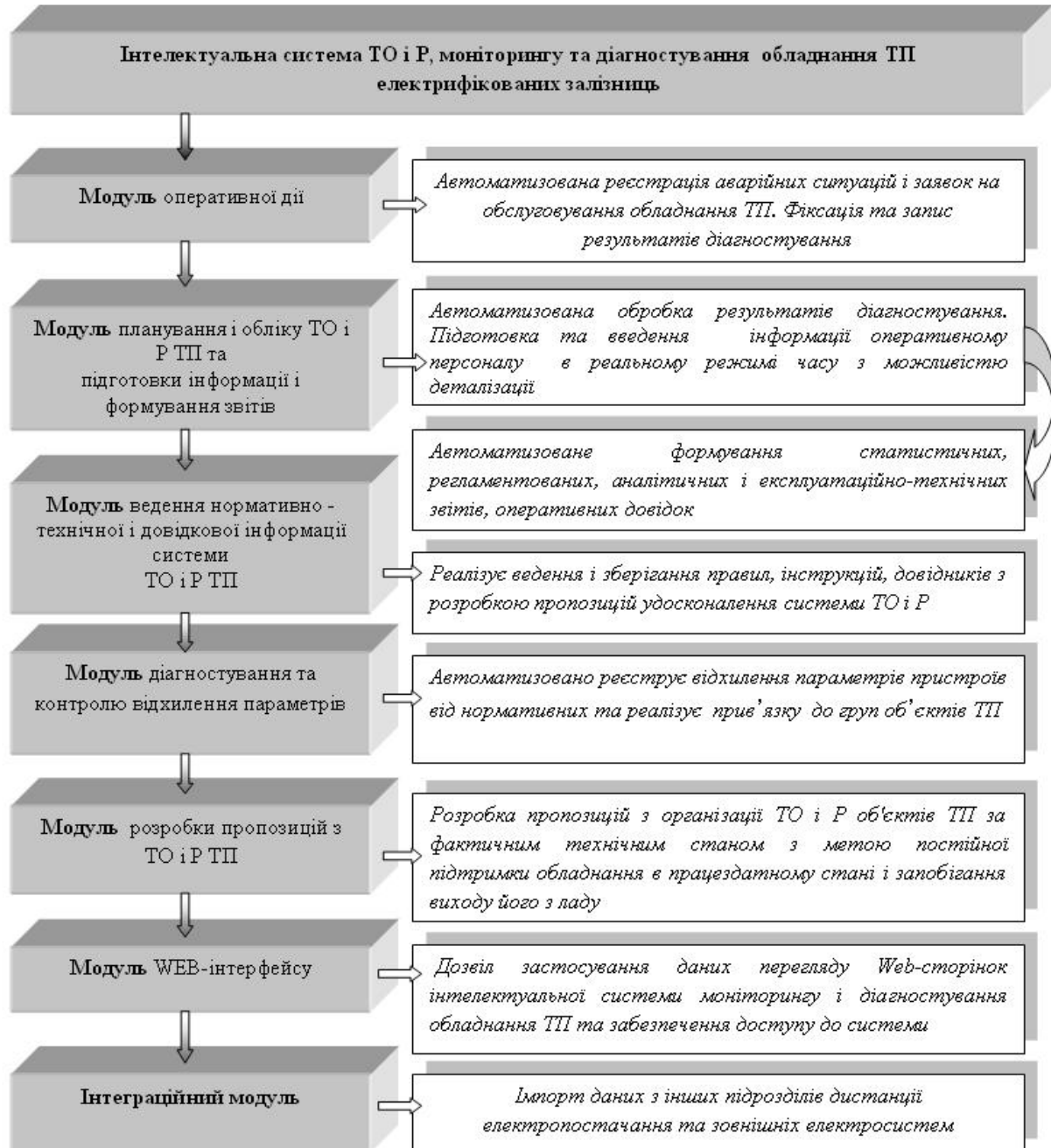


Рис. 2. Концепція інтелектуальної системи ТО і Р, моніторингу та діагностування обладнання ТП електрифікованих залізниць на основі Smart технологій

Fig. 2. The concept of TM and R intelligent system, monitoring and diagnostics of the RS equipment of electrified railways based on Smart technologies

Наукова новизна та практична значимість

Розглянуті нові напрями подальшого удосконалення системи ТО і Р тягових підстанцій електрифікованих залізниць. Автором запропоновано концепцію інтелектуальної системи ТО і Р, моніторингу та діагностування обладнання ТП. Визначені основні складові цієї системи. Запропоновано експлуатаційне обслуговування устаткування ТП за фактичним технічним станом з можливістю більш якісного використання ресурсу обладнання. В Інструкції з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць «ЦЕ-0024» такий підхід з організації та проведення ТО і Р ТП не розглядається. Впровадження концепції інтелектуальної системи ТО і Р, моніторингу та діагностування обладнання ТП дозволить:

- підвищити основні показники системи ТО і Р;
- забезпечити прозорість та обґрунтованість ТО і Р ТП;
- зменшити технологічні порушення та забезпечити запобігання аварій;
- забезпечити всю вертикаль управління достовірною інформацією про технічний стан устаткування ТП в масштабі реального часу;
- отримувати і обробляти масиви діагностичної інформації про стан електроустаткування підстанцій, необхідної і достатньої для організації ремонтно-експлуатаційного обслуговування устаткування за фактичним технічним станом та якісного використання ресурсу силового обладнання ТП;
- знизити витрати на експлуатацію силового устаткування;
- підвищити надійність електропостачання та знизити аварійність силового устаткування за рахунок:
 - виявлення потенційно небезпечних режимів роботи силового і комутаційного обладнання ТП;
 - оперативного контролю ресурсу силового устаткування, своєчасного попередження про його зниження, запобігання його аварійним ушкодженням;
 - контролю своєчасності планово-профілактичних перевірок і ремонтів силового устаткування;

- можливості переходу від планово-попереджувальної системи ТО і Р до системи обслуговування і ремонтів за фактичним технічним станом;
- централізованого обліку відмов силового устаткування;
- отримати економічний ефект, основними складовими якого є:
 - скорочення витрат на необґрунтоване оновлення устаткування і його комплексне обстеження;
 - скорочення чисельності персоналу в результаті впровадження автоматизованих методів діагностики;
 - зниження витрат на проведення ТО і Р;
 - скорочення випадків відключення подачі електроенергії з причини відмови устаткування;
 - скорочення випадків штрафних санкцій з боку споживачів за заподіяний збиток при виході з ладу електроустаткування тощо.

Висновки

Запропоновано концепцію інтелектуальної системи ТО і Р, моніторингу та діагностування обладнання ТП та визначено основні складові цієї концепції. Також запропоновано здійснення експлуатаційного обслуговування устаткування за фактичним технічним станом з можливістю збільшення ресурсу електроустаткування ТП. В Інструкції з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць «ЦЕ-0024» такий підхід з організації ТО і Р ТП не розглядається. Порівняно з існуючою системою ТО і Р силового обладнання ТП запропонована система здійснює достовірну, процесну та багатоаспектну оцінку техніко-економічного стану обладнання ТП з використанням нових методів і критеріїв оцінки, які підвищують оперативність і якість організації ТО і Р ТП електрифікованих залізниць.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Азовцев, Ю. А. Диагностика и прогноз технического состояния оборудования целлюлозно-бумажной промышленности в рыночных условиях [Електронний ресурс] / Ю. А. Азовцев, Н. А. Баркова, В. А. Доронин // Бумага, картон, целлюлоза. – 1999. – Режим доступу: <https://www.google.com.ua/www.vibrotek.ru/russian/biblioteka/book17>. – Назва з екрана.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

2. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2004 році : офіц. текст. – К. : Вид-во ТОВ «ВД «Мануфактура», 2005. – 181 с.
3. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2008 році : офіц. текст. – К. : Вид-во ТОВ «ВД «Мануфактура», 2009. – 244 с.
4. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2012 році : офіц. текст. – К. : Вид-во ТОВ «ВД «Мануфактура», 2013. – 247 с.
5. Бабенко, И. А. Внедрение системы технического обслуживания по фактическому состоянию машинного парка завода [Электронный ресурс] / И. А. Бабенко // Материалы научно-технических проектов молодых специалистов НК ЮКОС. – 2001. – Режим доступа: <https://www.google.com.ua/www.samara.sibintek.ru>. – Назва з екрана.
6. Брюль и Кьер, Мониторизация состояния машинного оборудования. ДК BR 0660-11 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.com.ua/www.vibrotek.ru/russian/biblioteka/book17>. – Назва з екрана.
7. Дорофеев, В. В. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России [Электронный ресурс] / В. В. Дорофеев, А. А. Макаров // Энергоэксперт. – 2009. – № 4 (15). – Режим доступа: https://www.google.com.ua/www.labview.ru/conference/Sbornik_NIDays2013.pdf. – Назва з екрана.
8. Единая Система Мониторинга и Диагностирования (Хозяйство электрификации и электрооборудования) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.com.ua/www.transset.ru/index.php/esmde>. – Назва з екрана.
9. Інструкція з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць : офіц. текст [Затверджена та введена в дію наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України Укрзалізниця 12. 12. 2007 р., № 618-Ц]. – Біла Церква : Вид-во ТОВ «Інпрес», 2007. – 125 с.
10. Кобец, Б. Б. Smart Grid: Концептуальные положения [Электронный ресурс] / Б. Б. Кобец, И. О. Волкова // Профession. журн. – 2010. – № 03. – С. 66–72. – Режим доступа: <https://www.google.com.ua/past.tpu.ru/files/est/tom-2.pdf>. – Назва з екрана.
11. Ледин, С. С. Развитие промышленных стандартов внутри- и межсистемного обмена данными интеллектуальных энергетических систем [Электронный ресурс] / С. С. Ледин, А. В. Игнатичев // Автоматизация и IT в энергетике. – 2010. – № 10. – Режим доступа: <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm>. – Назва з екрана.
12. Матусевич, О. О. Багатоаспектна оцінка технічного стану силового устаткування тягових підстанцій / О. О. Матусевич, В. Г. Сиченко // Энергосбережение на ж.-д. трансп. и в промышленности (11.06–14.06.2013) : тез. IV міжнар. наук.-практ. конф. / МОН України, Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В Лазаряна. – Д. : ДНУЖТ, 2013. – С. 78–80.
13. Матусевич, О. О. Интеллектуальные сети Smart Grid – майбутнє електрифікованих залізниць України / О. О. Матусевич // Электрификация ж.-д. трансп. "ТРАНСЭЛЕКТРО 2011" (19.12–21.12.2011) : тез. V міжнар. наук.-практ. конф. / МОН України, Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В Лазаряна. – Д. : ДНУЗТ, 2011. – С. 45–46.
14. Матусевич, О. О. Методика проведення експертизи оцінки надійності функціонування системи автоматизованого керування тягового електропостачання електричного транспорту / О. О. Матусевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 28. – С. 37–39.
15. Романенко, С. Е. Прозрачность и обоснованность затрат на ТО и Р [Электронный ресурс] / С. Е. Романенко, Е. В. Кондратьев. – 2013. – Режим доступа: <http://www.pass.ru>. – Назва з екрана.
16. Nobody knows the future of Smart Grid, therefore separate the essential in the secondary system [Электронный ресурс] / F. Baldinger, T. Jansen, M. Riet, F. Volberda // Developments in Power System Protection, the 10th IET Intern. Conf. (DPSP 2010), 29 March – 01 April. – 2010. – Manchester. – Режим доступа : https://www.google.com.ua/ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all. – Назва з екрана.
17. Potocvnik, J. European SmartGrids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future [Электронный ресурс] / J. Potocvnik // Office for Official Publications of the European Communities. – Luxembourg, 2006. – 44 p. – Режим доступа : http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_en.html. – Назва з екрана.
18. Transforming America's power industry: The investment challenge 2010–2030 [Электронный ресурс] / M. W. Chupka, R. Earle, P. Fox Penner, R. Hledik // Edison Electric Institute, Washington. – 2008. – Режим доступа : https://www.google.com.ua/www.iea.org/.../Session6_RussConklinISGAN. – Назва з екрана.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

А. А. МАТУСЕВИЧ^{1*}

^{1*}Каф. «Електроснабження залізних доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 793 19 17, ел. пошта al_m0452@meta.ua, ORCID 0000-0002-2174-7774

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ SMART-ТЕХНОЛОГИЙ

Цель. На этапе модернизации и реконструкции электрифицированных железных дорог Украины необходимо учитывать уровень инновационного развития всех субъектов электроснабжения на основе передовых технологий. В работе необходимо определить пути повышения надежности электроснабжения электрифицированных железных дорог и снижения аварийности силового оборудования тяговых подстанций (ТП). **Методика.** Для достижения поставленной цели проведено исследование мирового опыта по вопросам качественного решения проблем электроснабжения железных дорог на основе идеологии Smart Grid. Проведено исследование основных методов технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) и диагностирования устройств ТП электрифицированных железных дорог. **Результаты.** В результате исследования установлено, что в основе новых методов ТО и Р лежит анализ рисков эксплуатации старого оборудования или оборудования с определенными дефектами (обслуживание оборудования за фактическим техническим состоянием). Также установлено, что концептуальные определения Smart Grid указывают на важную роль интеллектуальной сети в технологическом и экономическом развитии системы электроснабжения. Значительный мировой опыт применения ТО и Р за фактическим техническим состоянием показывает следующую обобщенную оценку эффективности данного метода: снижение расходов на обслуживание на 75 %; снижение количества обслуживаний на 50 %; снижение числа отказов на 70 % за первый год работы. **Научная новизна.** В результате исследования и усовершенствования системы ТО и Р тяговых подстанций, автором предложена концепция интеллектуальной системы ТО и Р, мониторинга и диагностирования оборудования ТП. Определены основные составляющие этой системы. Предложено эксплуатационное обслуживание оборудования ТП за фактическим техническим состоянием с возможностью более качественного использования ресурса оборудования. В Инструкции технического обслуживания и ремонта оборудования тяговых подстанций, пунктов питания и секционирования электрифицированных железных дорог «ЦЕ-0024» такой подход к организации и проведению ТО и Р ТП не рассматривается. **Практическая значимость.** Внедрение данной системы позволяет: повысить основные показатели системы ТО и Р; снизить расходы на эксплуатацию силового оборудования ТП за счет применения ТО и Р по фактическому техническому состоянию; повысить надежность оборудования ТП и системы электроснабжения электрифицированных железных дорог; получить экономический эффект и т.п.

Ключевые слова: электроснабжение; электрифицированные железные дороги; модернизация; реконструкция; Smart Grid; тяговая подстанция; оборудование; ТО и Р; диагностирование; надежность; система; мониторинг; фактическое техническое состояние

О. О. МАТУСЕВИЧ^{1*}

^{1*}Dep. «Power Supply of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. + 38 (056) 793 19 17, e-mail al_m0452@meta.ua, ORCID 0000-0002-2174-7774

NEW APPROACHES TO MAINTENANCE AND REPAIRING OF THE TRACTION SUBSTATIONS EQUIPMENT ON ELECTRIFIED RAILWAYS ON THE BASIS OF SMART-TECHNOLOGIES

Purpose. At the stage of modernization and reconstruction of electrified railroads in Ukraine one should take into account the innovative development level of all electric supply subjects on the basis of advanced technologies.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Determination the ways to increase the power supply reliability of electrified railways and reducing the accidents of the traction substation power equipment (TS). **Methodology.** For attainment a goal it's studied the international experience on qualitative power supply of the electrical railways at the basis of the ideology of Smart Grid. It's conducted a research of the major methods of technical servicing, repairing (TS and R) and diagnostics the traction substation devices of electrified railways. **Findings.** As a result of research it was concluded that the basis of the new methods of maintenance and repairing is analysis of the risks of operation of the worned equipment or equipment with some defects (maintenance of equipment on the basis of the actual technical condition). It's also concluded that the conceptual definitions of Smart Grid point to the important role of smart grid technology to the economic development of the electrical system. Significant world experience of maintenance and repairing at the basis of the actual technical state shows the following general assessment of the effectiveness of this method: reducing maintenance costs by 75%, reducing the number of services up to 50%, reduction the number of failures by 70% in the first year. **Originality.** As a research and improvement result of the maintenance and repairing system of traction substations, the author has proposed the concept of maintenance and repairing intelligent system, monitoring and diagnostic of technical process equipment. The basic components of the system are proposed. It's proposed a maintenance of the equipment of traction substation at the actual technical state with better resource parameters. In the normative document for maintenance and repairing of the equipment of traction substations, power points and sectioning posts of the electrified railways "CE-0024", this approach for organizing and conducting the maintenance and repairing of the TS is not considered. **Practical value.** Implementation of this system allows: to increase the main indicators of maintenance and repairing; decrease operating costs of the power equipment by using maintenance and repairing at a basis of the actual technical state; improve the reliability of equipment and the power supply system of TS of electrified railways, obtain economic benefit, and so on.

Keywords: power supply; electrified railway; modernization; reconstruction; Smart Grid; traction substation, equipment; maintenance and repairing; diagnostics; reliability; system; monitoring; actual technical state

REFERENCES

1. Azovtsev Yu.A., Barkova N.A., Doronin V.A. Diagnostika i prognoz tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti v rynochnykh usloviyakh (Diagnosis and prognosis of equipment technical state in pulp and paper industry in market conditions). *Bumaga, karton, tsellyuloza – Paper, paperboard, cellulose*, 1999. Available at: <https://www.google.com.ua/www.vibrotek.ru/russian/biblioteka/book17> (Accessed 10 May 2014).
2. *Analiz roboty hospodarstva elektryfikatsii ta elektropostachannia v 2004 rotsi* [Work analysis of electrification and power management in 2004]. Kyiv, TOV «VD «Manufaktura» Publ., 2005. 181 p.
3. *Analiz roboty hospodarstva elektryfikatsii ta elektropostachannia v 2008 rotsi* [Work analysis of electrification and power management in 2008]. Kyiv, TOV «VD «Manufaktura» Publ., 2009. 244 p.
4. *Analiz roboty hospodarstva elektryfikatsii ta elektropostachannia v 2012 rotsi* [Work analysis of electrification and power management in 2012]. Kyiv, TOV «VD «Manufaktura» Publ., 2013. 247 p.
5. Babenko I.A. Vnedreniye sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya po fakticheskomu sostoyaniyu mashinnogo parka zavoda (Implementation of maintenance on the actual state of the machine park plant). *Materialy nauchno-tekhnicheskikh projektov molodykh spetsialistov NK YuKOS* (Proc. of the scientific-technical projects of young professionals YuKOS), 2001. Available at: <https://www.google.com.ua/www.samara.sibintek.ru> (Accessed 10 May 2014).
6. Bryul i Ker. *Monitorizatsiya sostoyaniya mashinnogo oborudovaniya. DK BR 0660-11* (Monitoring the state machinery. DK BR 0660-11). Available at: <https://www.google.com.ua/www.vibrotek.ru/russian/biblioteka/book17> (Accessed 10 May 2014).
7. Dorofeyev V.V., Makarov A.A. Aktivno-adaptivnaya set – novoye kachestvo YeES Rossii (Active and adaptive network - a new quality of Russia UES). *Energoekspert – Energoexpert*, 2009, no. 4 (15). Available at: https://www.google.com.ua/www.labview.ru/conference/Sbornik_NIDays2013.pdf (Accessed 15 May 2014).
8. *Yedinaya Sistema Monitoringa i Diagnostirovaniya (Khozyaystvo elektryfikatsii i elektroshabzheniya)* (Single monitoring and diagnostics system. (Economy of electrification and power supply)). Available at: <https://www.google.com.ua/www.transset.ru/index.php/esmde> (Accessed 10 May 2014).
9. *Instruktsiia z tekhnichnoho obsluhovuvannia i remontu obladnannia tiahovykh pidstantsii, punktiv zhyvlennia i sektionuvannia elektryfikovanykh zaliznyts* [Instructions for maintenance and repair of equipment of traction substations, power points and sectioning of electrified railways]. Bila Tserkva, TOV «Inpres» Publ., 2007. 125 p.
10. Kobets B.B., Volkova I.O. Smart Grid: Kontseptualnyye polozheniya (Smart Grid: Conceptual positions). *Professionalnyy zhurnal – Professional Journal*, 2010, no. 03, pp. 66-72. Available at: <https://www.google.com.ua/past.tpu.ru/files/est/tom-2.pdf> (Accessed 10 May 2014).

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

11. Ledin S.S., Ignatichiev A.V. Razvitiye promyshlennykh standartov vnutri- i mezhsystemnogo obmena dannymi intellektualnykh energeticheskikh sistem (Development of industry standards within and inter-system data exchange of energy smart systems). *Avtomatizatsiya i IT v energetike – Automation and IT in the energy sector*, 2010, no. 10. Available at: <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm> (Accessed 21 May 2014).
12. Matushevych O.O., Sychenko V.H. Bahatoaspektna otsinka tekhnichnoho stanu sylovoho ustatkuvannya tiahovykh pidstantsii [Multifaceted technical evaluation of the power equipment of traction substations]. *Tezisy IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Energoberezhniye na zheleznodorozhnom transporte i v promyshlennosti (11.06-14.06.2013)»* [Proc. of the 4th Int. Scientific and Practical Conf. «Energy-saving reinforced. on transport and industry»]. Dnipropetrovsk, 2013, pp. 78-80.
13. Matushevych O.O. Intelektualni merezhi Smart Grid – maibutnie elektryfikovanykh zaliznyts [Intellectual networks Smart Grid - the future of electrified railways in Ukraine]. *Tezisy V mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Elektrifikatsiya zheleznodorozhnogo transporta «TRANSELEKTRO 2011»»* [Proc. of the 5th Int. Scientific and Practical Conf. «Electrification of Railroad Transport «TRANSELEKTRO 2011»]. Dnipropetrovsk, 2011, pp. 45-46.
14. Matushevych O.O. Metodyka provedennia ekspertyzy otsinky nadiinosti funktsionuvannya systemy avtomatyzovanoho keruvannya tiahovoho elektropostachannia elektrychnoho transportu [Assessment methods of reliability examination of automatic systems for controlling traction power supply of electric transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transport imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 28, pp. 37-39.
15. Romanenko S.Ye., Kondratev Ye.V. *Prozrachnost i obosnovannost zatrat na TO i R* (The transparency and reasonableness of expenditures for maintenance and repair). 2013. Available at: <http://www.pacc.ru> (Accessed 16 May 2014).
16. Baldinger F., Jansen T., Riet M., Volberda F. Nobody knows the future of Smart Grid, therefore separate the essential in the secondary system. «*Developments in Power System Protection*», the 10th IET Intern. Conf.». Available at: https://www.google.com.ua/ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all (Accessed 16 May 2014).
17. Potocvnik J. European Smart Grids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. Office for Official Publications of the European Communities, 2006. 44 p. Available at: http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_en.html (Accessed 16 May 2014).
18. Chupka M.W., Earle R., Fox Penner P., Hledik R. Transforming America's power industry: The investment challenge 2010 – 2030. Edison Electric Institute, 2008. Available at: https://www.google.com.ua/www.iea.org/.../Session6_RussConklinISGAN (Accessed 21 May 2014).

Стаття рекомендована до друку д.фіз.-мат.н., проф. В. І. Гаврилюком (Україна); к.т.н., доц. О. В. Остапчуком (Україна)

Надійшла до редколегії: 24.04.2014

Прийнята до друку: 17.06.2014

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 669:539.43:539.56

І. О. ВАКУЛЕНКО^{1*}, С. О. ПЛІТЧЕНКО², Д. М. МАКАРЕВИЧ³

^{1*}Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1916

²Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-0613-2544

³Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0003-4327-9809

ВПЛИВ ХІМІЧНИХ СПОЛУК НА ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО РОЗРЯДУ

Мета. Метою роботи являється порівняльний аналіз впливу хімічних сполук на процес запалювання електричної дуги, умови її горіння. **Методика.** Матеріалом для електроду послуговував низьковуглецевий дріт діаметром 3 мм зі сталі з 0,15 % вуглецю. В якості речовин, що визначають умови формування електродугового розряду, були використані каолін; $CaCO_3$ з домішками гіпсу до 60 %; SiO_2 та $Fe - Si$ при концентрації заліза до 50 %. Дослідження проводилися при використанні електричного струму постійного напрямку, дуги зворотної полярності. В якості джерела електричного струму було використано зварювальний перетворювач типу ПСО-500. На спеціальному стенді початковий зазор між електродом та металеву пластину складав значення 1–1,5 мм. Міжелектродний проміжок заповнювали досліджуваною сполукою та формували електричний розряд. У момент запалювання електричної дуги визначали величини електричного струму та напруги на дузі. Після природнього розриву електричної дуги, остаточну величину зазору між електродами приймали в якості максимальної довжини дуги. **Результати.** За умов експерименту перенос металу в міжелектродному проміжку відповідав краплинному механізму. За зовнішніми ознаками співвідношення між максимальною довжиною дуги та потужністю електричного струму має вигляд експоненціальної залежності. Питома потужність електричного дугового розряду в момент запалення дуги на одиницю її довжини відображає стан середовища в міжелектродному проміжку. **Наукова новизна.** 1. На основі аналізу впливу досліджуваних речовин на процеси формування електричного дугового розряду визначено обернено пропорційний зв'язок між потужністю електричного струму та максимальною довжиною дуги до моменту її природнього розриву. 2. Співвідношення між максимальною довжиною дуги та потужністю електричного струму з достатньо високим коефіцієнтом кореляції підпорядковуються експоненціальній залежності. Вплив досліджуваних речовин на процес формування електричного дугового розряду визначається через показники ступеня розглянутого співвідношення. 3. Величина питомої потужності електричного струму в момент формування електричного розряду на одиницю довжини дуги може бути прийнята в якості параметра, що характеризує стан міжелектродного середовища. **Практична значимість.** За умов однакової установочної сили електричного струму визначено послідовність розташування досліджуваних сполук у порядку збільшення їх впливу на процес горіння дуги. Мінімальний вплив спостерігається з боку каоліну, а максимальний – з $Fe - Si$.

Ключові слова: електричний дугувий розряд; довжина дуги; потужність електричного струму; хімічна сполука

Вступ

Для технології електричного дугового зварювання, початкові умови формування електричного розряду значною мірою визначають особливості подальшого процесу горіння дуги. Зважаючи на велику кількість чинників, що за якісними показниками по-різному впливають на умови запалювання електричної дуги, стан середовища міжелектродного проміжку є одним із найбільш вагомим [3].

З іншого боку, стан середовища буде набувати не менш вагомим значення і на етапі стабільного горіння дуги, визначаючи умови переносу металу через електродний проміжок. Більше того, сам характер переносу рідкого металу від електрода до зварювальної ванни буде зумовлювати не тільки технологічні характеристики електричної дуги і енергетичний баланс, але і ступінь завершення розвитку металургійних процесів під час формування зварного з'єднання в цілому [3, 12]. Враховуючи, що вплив міжелектродного середовища на процес запалювання дуги визначається іонізуючою спроможністю, розташування між електродами різних речовин і сполук дозволить змінювати початкові умови формування електричного розряду [4, 15]. На підставі цього, цілеспрямований вплив на умови переносу металу на момент формування електричного розряду має дуже велике значення для технології електричного дугового зварювання.

Процес перенесення металу через міжелектродний проміжок значною мірою визначається початковими умовами запалювання електричної дуги. Вказаний процес переносу металу можна умовно розподілити на окремі етапи, яким притаманні характерні умови зміни агрегатного стану металу і його властивостей [2, 6]. Так, після формування рідини, зростання її об'єму на поверхні катоду до моменту відокремлення краплин з поверхні і перенесення їх до аноду.

Враховуючи залежність процесу формування краплин, їх форми і розміру від протікання хімічних реакцій між речовинами або сполуками, що заповнюють міжелектродний проміжок, сумарний вплив на іонізуючу спроможність середовища передбачити достатньо складно [8, 10]. З іншого боку, процес формування краплини можна з впевненістю вважати залежним від співвідношення сил тяжіння, що впливають на рідину, і силою поверхневого натягу металу.

Величина сили поверхневого натягу рідкого металу або сплаву визначається особливостями їх внутрішньої будови, до яких відносяться тип кристалічної решітки, хімічний склад сплаву. Температура нагріву рідини та її рідкоплинність має певний вплив на указану характеристику.

Так, для заліза коефіцієнт поверхневого натягу дорівнює 1,22 Н/м [6]. Домішки хімічних елементів до заліза призводять до його зміни. Наприклад, добавка до заліза 18 % Cr, 8 % Ni, 1 % Ti (X18H9T) призводить до зменшення коефіцієнта поверхневого натягу (σ) на рівні 8–10 %.

Порівняно з впливом хімічного складу сплаву суміш газів міжелектродного проміжку може також впливати на рівень значень σ , хоча їх вплив у більшості випадків якісно різний.

Розглядаючи формування краплини металу електрода можна зазначити, що основний вплив визначається співвідношенням між аксіальною силою, яка виникає внаслідок так званого «пінч-ефекту» та силою поверхневого натягу [4, 6]. Зростання температури нагріву рідкого металу супроводжується зниженням коефіцієнта поверхневого натягу [6, 9].

Враховуючи, що в першому наближенні температура розігріву рідкого металу пропорційна силі зварювального струму (I), а зростання I , змінюючи вплив гравітаційної складової, сприяє зменшенню критичного розміру краплини (умови відриву краплини від електрода) [6]. Одночасно з цим збільшується вплив електромагнітної сили [1], в тому числі його стискаюча дія на рідкий метал зварювальної ванни [1, 14]. Після відриву краплини від поверхні електрода, процес її переміщення вже починає залежати від сумісної дії електростатичних та електродинамічних сил, реактивної дії електричного розряду [10].

На підставі наведеного сумісного впливу, зростання сили електричного струму супроводжується подрібненням краплин рідкого металу, які переносяться в міжелектродному проміжку [6, 16]. Наведений складний вплив на процес переносу рідкого металу під час електродугового зварювання може корегуватися за рахунок використання різноманітних хімічних речовин і сполук.

Мета

Порівняльний аналіз впливу хімічних речовин на процес запалювання електричної дуги і умови її горіння.

Методика

Матеріалом для електрода був використаний низьковуглецевий дріт діаметром 3 мм, з сталі з 0,15 % вуглецю. Як сполуки, що визначають умови формування електродугового розряду, були використані каолін; $CaCO_3$, з домішками гіпсу до 60 %; SiO_2 та $Fe-Si$; при концентрації заліза до 50 %.

Дослідження виконували під час використання електричного струму постійного напрямку, дуги зворотної полярності. Як джерело електричного струму використовували зварювальний перетворювач типу ПСО-500. На спеціальному стенді початковий зазор між електродами та металевою пластиною складав значення 1–1,5 мм. Міжелектродний проміжок заповнювали досліджуваною сполукою і формували електричний розряд.

В момент запалювання електричної дуги визначали величини електричного струму та напруги на дузі. Після природного розриву електричної дуги, остаточну величину зазору між електродами приймали як максимальну довжину дуги.

Результати

Окрім залежності температури розігріву металу від сили електричного струму [7, 10], процес формування краплин рідкого металу визначається сумісною дією декількох чинників. По-перше, існування обернено пропорційного співвідношення між температурою нагріву і силою поверхневого натягу металу показує, що зростання I буде сприяти підвищенню рідкоплинності рідини. Одночасно з цим, спостерігається зростання електродинамічного впливу на процес утворення краплин. Сумісний вплив указаних чинників призводить до зростання ступеня диспергування краплин рідкого металу [6].

Процес переносу рідкого металу через міжелектродний проміжок можна розкласти на послідовні етапи: відрив сформованої краплини від поверхні одного електрода і перенос її до іншого. Таким чином, пропорційно зростанню I буде зменшуватися розмір краплин, що вилучаються з поверхні електрода. Одночасно буде зростати кількість краплин, що переносяться через проміжок між електродами за одиницю часу.

При силі електричного струму, коли краплини утворюють безперервний ланцюг, вважається досягненням критичних умов, що визначають якісні зміни в характері переносу металу (від краплинного до струйного). Таким чином, визначення механізму переносу металу має практичне значення для оцінювання впливу досліджуваних речовин на процес формування електричного розряду.

Критичне значення електричного струму (I_c) відповідає умовам, коли діаметр стовбура рідкого металу досягне приблизно 0,7 діаметра електрода [6]. На підставі цього, величина I_c оцінюється за співвідношенням:

$$I_c = k\sqrt{\sigma d}, \quad (1)$$

де k і σ – коефіцієнти пропорційності і поверхневого натягу металу відповідно, d – діаметр електрода.

Невизначеність величин k і σ може бути усунена використанням відомих експериментальних даних. Так, величина сили поверхневого натягу для заліза дорівнює 1,22 Н/м, а при збільшенні вмісту хімічних елементів зменшується, досягаючи, наприклад, для складно легованої сталі марки X18H9T 1,1 Н/м [6]. Підставляючи в (1) $\sigma = 1,1$ Н/м, для різних діаметрів електрода: 1–3 мм та відповідних значень I_c (190–350 А), які отримані з прямих досліджень (по відриву краплини рідкого металу від поверхні електрода), для сталі X18H9T величина k склала значення 18,1–18,8 А/дін^{0,5}.

З урахуванням інтервалу зміни σ , для низьковуглецевої сталі можна прийняти $\sigma = 1,2$ Н/м, та $k = 18,5$ А/дін^{0,5}. За співвідношенням (1) було визначено, що для низьковуглецевої сталі електрода при $d = 3$ мм, I_c повинно дорівнювати 375–380 А. Порівнюючи із струмом установки 200 А, слід вважати, що за умов експерименту перенос металу в міжелектродному проміжку відповідав краплинному механізму.

За умов електричного струму постійного напрямку, при зворотній полярності, відсутність кореляційних зв'язків між максимальною довжиною дуги (l_0) і силою електричного струму або напругою на дузі (U), виявлена необхідність одночасного урахування впливів від I та U . Результати побудованих залежностей для досліджуваних компонентів наведені на рис. 1.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

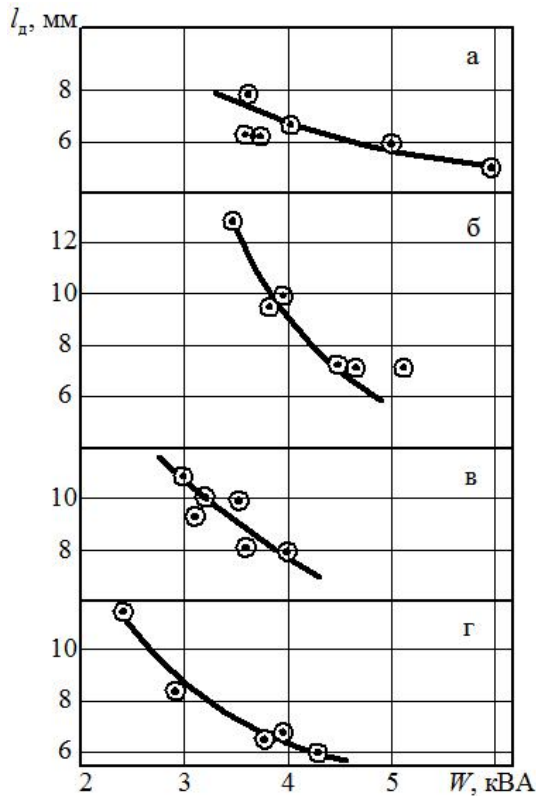


Рис. 1. Вплив каоліну – (а), SiO_2 – (б), $Fe-Si$ – (в) та $CaCO_3$ – (г) на співвідношення між довжиною дуги і потужністю електричного струму

Fig. 1. Influence of kaolin – (a), SiO_2 – (b), $Fe-Si$ – (c) and $CaCO_3$ – (d) on the ratio between the arc length and electric current power

За зовнішніми ознаками можна говорити про існування обернено пропорційного співвідношення між l_0 і потужністю електричного струму ($W = UI$). Відхилення залежностей $l_0 = f(W)$ від прямолінійного вигляду вказує на необхідність перебудови їх у логарифмічних координатах (рис. 2).

У першому наближенні вказані залежності достатньо однозначно підпорядковуються співвідношенню типу:

$$\ln(l_0) = A + K \ln(W), \quad (2)$$

де A і K постійні характеристики. Після перетворень вираз (2) набуває вигляду:

$$l_0 \approx B \frac{e^A}{W^K}, \quad (3)$$

де B – коефіцієнт пропорційності.

Для кожного досліджуваного компонента за залежностями (рис. 2) були визначені значення A і K , для розмірності l_0 [мм], W [кВА]. Так, в порядку зменшення величин A (14,75; 13,7; 10,5 і 8,8), досліджувані компоненти розташовуються у відповідній послідовності: SiO_2 , $Fe-Si$, $CaCO_3$ і каолін. Аналогічний характер зміни спостерігається і для величини K , у визначеній послідовності (SiO_2 , $Fe-Si$, $CaCO_3$ і каолін): 1,5; 1,4; 1,03 і 0,817.

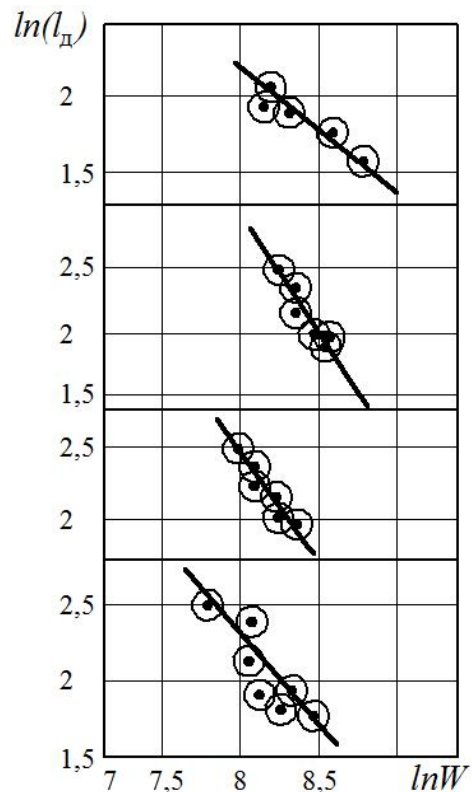


Рис. 2. Залежності $l_0 = f(W)$ для досліджуваних речовин в логарифмічних координатах. Позначення аналогічні рис. 1

Fig. 2. Dependencies $l_0 = f(W)$ for the studied substances in logarithmic coordinates. Values are similar to the Fig. 1

Для більш детального пояснення причин, що впливають на процес запалювання електричної дуги компонентів в наведеній послідовності від SiO_2 до каоліну, здійснено додатковий аналіз отриманих співвідношень. Так у першому наближенні, з урахуванням відомого зниження сили поверхневого натягу заліза від концентрації кисню [6], наведений характер впли-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ву (рис. 1) може бути зумовлений присутністю різної концентрації атомів кисню в результаті реакції дисоціації досліджуваних компонентів. З іншого боку, на початкових етапах формування дугового розряду збільшення сили електричного струму супроводжується пропорційним зростанням масопереносу металу через міжелектродний проміжок [5, 10]. Разом з тим, за рахунок сумарної дії виникаючих електричних і магнітних полів в проміжку між електродами формується осьова сила, що визначає механічний характер впливу на рідкий метал. Виникаюче напруження за своєю дією є напруженням тиску.

За умов незмінності більшості чинників, що мають вплив на процес формування дугового розряду, вказане напруження можна оцінити через виникаючу силу (ρ) за залежністю [6]:

$$\rho = k_0 I^2, \quad (4)$$

де k_0 – коефіцієнт, що визначає вплив діаметра електрода та полярності електричної дуги. Разом з тим, за наведеною залежністю повністю відсутній вплив іонізуючої спроможності міжелектродного середовища. Хоча, за зображенням співвідношень $l_0 = f(W)$ (рис. 1) можна все ж визначити особливості впливу досліджуваних речовин на стан середовища міжелектродного проміжку.

Використовуючи потужність електричного дугового розряду в момент запалення дуги як характеристику, що визначає умови подальшого її горіння, максимальна довжина дуги повинна відображати стан середовища в міжелектродному проміжку. Дійсно, аналіз залежностей $l_0 = f(W)$ показує, що достатньо часто можна спостерігати для однакових рівнів W зміну l_0 у визначеному інтервалі значень. З метою спроби визначення показника, який може дозволити оцінити вплив досліджуваних речовин на процес горіння дуги, скористаємося залежністю $l_0 = f(W)$ (рис. 1), але як аргумент приймемо величину l_0 . Далі, після апроксимації залежності $W = f(l_0)$ прямими лініями і визначення кутового коефіцієнта співвідношень стає можливим оцінити ступінь впливу досліджуваних речовин.

Для інтервалу значень W і l_0 (рис. 1) кутовий коефіцієнт (C) оцінемо за співвідношенням:

$$C = \frac{\Delta W}{\Delta l_0}, \quad (5)$$

де – ΔW і Δl_0 відповідні інтервали зміни W і l_0 .

Враховуючи, що кожному хімічному елементу відповідають власні значення потенціалів іонізації (перший потенціал іонізації, другий та ін. [13]), можна з визначеним ступенем спрощення спробувати оцінити вказану характеристику досліджуваних сполук (P). По перше, для визначення P скористаємося лише першим потенціалом іонізації хімічних елементів, значення яких наведені на діаграмі (рис. 3).

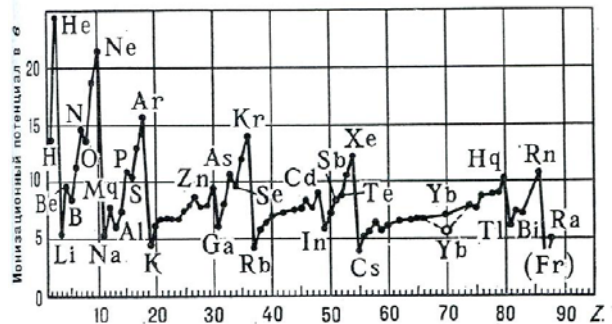


Рис. 3. Значення першого потенціалу іонізації хімічних елементів залежно від порядкового номера періодичної таблиці

Fig. 3. Value of the first potential of chemical elements ionization according to the serial number of the periodic table

Зумовлено наведене положення тим, що під час формування електричного дугового розряду в основному відбувається вилучення зовнішніх (валентних) електронів, в той час як вилучення більш наближених електронів до ядра атома потребує в декілька разів більшої енергії [11, 13].

З метою врахування достатньо складного взаємного впливу одночасно присутніх різних хімічних елементів в зоні електричного дугового розряду, необхідно зробити два припущення.

Перше припущення – це виконання оцінювання величин P досліджуваних сполук без урахування енергії, яка витрачається на повну дисоціацію молекул або хімічних з'єднань до атомарного стану. Друге припущення – приймається адитивний характер впливу потенціалів іонізації хімічних елементів, які утворюють молекулу або хімічне з'єднання, пропорційно їх кількості. Ефективність впливу досліджуваних сполук на процес формування електричного

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

розряду, що оцінюється за значеннями величини C (рис. 1), в дійсності повинна бути пов'язана з особливостями атомарної будови хімічних елементів, які утворюють сполуки. На підставі цього, можна очікувати існування кореляційного зв'язку між величинами C та P . Результат спроби парного нанесення вказаних характеристик наведений на рис. 4.

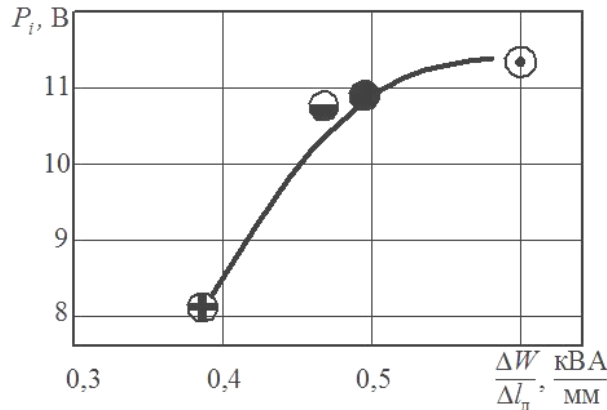


Рис. 4. Співвідношення між величинами P і C для досліджуваних речовин (○ – каолін; ● – SiO_2 ; ◐ – $CaCO_3$; ⊕ – $Fe-Si$)

Fig. 4. Ratios between the values P and C for the studied substances (○ – kaolin; ● – SiO_2 ; ◐ – $CaCO_3$; ⊕ – $Fe-Si$)

З характеру наведеного співвідношення можна говорити про існування між кутовим коефіцієнтом (C) і величиною P пропорційного зв'язку. Якщо вважати, що за визначених умов формування електричного дугового розряду величина C характеризує вплив сполуки на процес горіння дуги, то цілком обґрунтованим слід очікувати існування зв'язку з величинами, які характеризують стан міжелектродного проміжку. За наведеною залежністю, порівняно з іншими досліджуваними сполуками, заповнення міжелектродного проміжку $Fe-Si$ супроводжується формуванням електричного дугового розряду при найбільш низьких значеннях питомої потужності. Приблизно на 20% більшу потужність електричного струму необхідно мати для забезпечення умов збудження дугового розряду при заповненні міжелектродного проміжку $CaCO_3$ та SiO_2 та ще більшу для каоліну.

Наукова новизна та практична значимість

1. На основі аналізу впливу досліджуваних речовин на процеси формування електричного дугового розряду визначений обернено-пропорційний зв'язок між потужністю електричного струму і максимальною довжиною дуги до моменту її розриву.

2. Співвідношення між максимальною довжиною дуги і потужністю електричного струму, з достатньо високим коефіцієнтом кореляції, підпорядковується експоненціальній залежності. Вплив досліджуваних сполук на процес формування електричного дугового розряду визначається через показники ступеня запропонованого співвідношення.

3. Величина питомої потужності електричного струму в момент формування електричного розряду, яка віднесена до довжини дуги, може бути прийнята як параметр, що характеризує стан міжелектродного середовища.

За умов однакової встановлювальної сили електричного струму визначена послідовність розташування досліджуваних речовин в порядку збільшення їх впливу на процес горіння дуги. Так, мінімальний вплив спостерігається з боку каоліну, а максимальний – для $Fe-Si$. Використання величини C дозволить на практиці оцінювати ступінь впливу суміші хімічних речовин і сполук на процес формування електричного дугового розряду.

Висновки

1. За умов виконаних досліджень перенос металу в міжелектродному проміжку відповідає краплинному механізму.

2. Співвідношення між максимальною довжиною дуги і потужністю електричного струму в момент формування електричного розряду, для умов оберненої полярності, має вигляд експоненціальної залежності.

3. Вплив хімічної сполуки на стан середовища міжелектродного проміжку може бути оцінено за відношенням швидкості зміни потужності електричного розряду, в момент запалювання дуги, на одиницю її довжини.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Вакуленко, І. О. Структурні перетворення в металі залізничного колеса після дії імпульсів електричного струму / І. О. Вакуленко, В. А. Сокірко, О. С. Баскевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 160–163.
- Вакуленко, І. А. Морфологія структури і деформационне упрочнення сталі / І. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Д. : Маковецький, 2008. – 196 с.
- Кривцун, І. В. Модель процесів тепло-, масо- і електропереносу в анодній області і столбі сварочної дуги з тугоплавким катодом / І. В. Кривцун, В. Ф. Демченко, І. В. Крикент // Автомат. сварка. – 2010. – № 6. – С. 3–11.
- Лесков, Г. И. Электрическая сварочная дуга / Г. И. Лесков. – М. : Машиностроение, 1970. – 336 с.
- Приэлектродные процессы в дуговых разрядах / М. Ф. Жуков, Н. П. Козлов, А. В. Пустогаров и др. – Новосибирск : Наука, 1982. – 157 с.
- Сварка в машиностроении : справочник / под ред. Н. А. Ольшевского. – М. : Машиностроение, 1978 – Т. 1. – 504 с.
- Щербаков, И. П. Исследование изменения субмикрорельефа поверхности медных образцов при пропускании по ним импульсов электрического тока большой плотности / И. П. Щербаков, Д. В. Чураев, В. Н. Светлов // Журн. техн. физики. – 2004. – Т. 74. – Вып. 4. – С. 139–142.
- Boulos, M. I. Thermal plasmas: Fundamentals and applications / M. I. Boulos, P. Fauchais, E. Pfender. – N.-Y. ; London : Plenum press, 1997. – Vol. 1. – 454 p.
- Electric pulse treatment of welding joint of aluminum alloy / I. A. Vakulenko, Yu. L. Nadezhdin, V. A. Sokirko et al. // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 73–82.
- Hu, J. Heat and mass transfer in gas metal arc welding. Pt. I: The arc / J. Hu, H. L. Tsai // Intern. J. Heat and Mass Transfer. – 2007. – № 50. – P. 833–846. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.08.025.
- Investigation of cathode spot behaviour of atmospheric argon arcs by mathematical modeling / J. Wendelstorf, G. Simon, I. Decker et al. // Proc. of 12th Intern. Conf. on gas discharges and their applications. – Greifswald, 1997. – Vol. 1. – P. 62–65.
- Metal vapour behaviour in gas tungsten arc thermal plasma during welding / M. Tanaka, K. Yamamoto, S. Tashiro et al. // Welding in the World. – 2008. – Vol. 52, № 11/12. – P. 82–88. doi: 10.1007/bf03266686.
- Moore, Ch. E. Ionization potentials and ionization limits derived from the analysis of optical spectra / Ch. E. Moore. – Washington : NSRDS – NBS 34, 1970 – P. 46–57.
- Nestor, O. H. Heat intensity and current density distributions at the anode of high current, inert gas arcs / O. H. Nestor // J. of Applied Physics. 1962. – 33 (5). – P. 1638–1648. doi: 10.1063/1.1728803.
- Prediction of anode temperatures of free burning arcs / P. Zhu, J. J. Lowke, R. Morrow et al. // J. of Applied Physics. – 1995. – Vol. 28 (7). – P. 1369–1376.
- Sanders, N. A. Measurement of anode falls and anode heat transfer in atmospheric pressure high intensity arcs / N. A. Sanders, E. Pfender // J. of Applied Physics. – 1984. – Vol. 55 (3) – P. 714–722. doi: 10.1063/1.333129.

І. А. ВАКУЛЕНКО^{1*}, С. А. ПЛИТЧЕНКО², Д. Н. МАКАРЕВИЧ³

^{1*}Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1916

²Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-0613-2544

³Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0003-4327-9809

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО РАЗРЯДА

Цель. Целью работы является сравнительный анализ влияния химических соединений на процесс формирования электрической дуги и условия ее горения. **Методика.** Материалом для электрода была низкоуглеродистая проволока диаметром 3 мм из стали с содержанием углерода 0,15 %. В качестве соединений, которые определяют условия формирования электродугового разряда, использовали каолин; $CaCO_3$ с при-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

месями гипса до 60 %; SiO_2 и $Fe-Si$ при концентрации железа до 50 %. Исследования проводились при использовании постоянного электрического тока и дуги обратной полярности. В качестве источника электрического тока использовали сварочный преобразователь типа ПСО-500. На специальном стенде начальный зазор между электродом и металлической пластиной составлял значение 1–1,5 мм. Межелектродный промежуток заполняли исследуемым соединением и формировали электрический разряд. В момент возникновения электрической дуги определяли величины электрического тока и напряжения на дуге. После природного разрыва электрической дуги, окончательную величину зазора между электродами принимали в качестве максимального значения длины дуги. **Результаты.** В условиях эксперимента перенос металла в межэлектродном промежутке отвечал капельному механизму. По внешним признакам соотношение между максимальной длиной дуги и мощностью электрического тока имеет вид экспоненциальной зависимости. Удельная мощность электрического дугового разряда в момент формирования дуги на единицу ее длины характеризует состояние среды в межэлектродном промежутке. **Научная новизна.** 1. На основе анализа влияния исследуемых химических соединений на процессы формирования электрического дугового разряда определена обратно-пропорциональная связь между мощностью электрического тока и максимальной длиной дуги к моменту ее природного разрыва. 2. Соотношение между максимальной длиной дуги и мощностью электрического тока с достаточно высоким коэффициентом корреляции подчиняется экспоненциальной зависимости. Влияние исследуемых соединений на процесс формирования электрического дугового разряда определяется через показатели степени полученного соотношения. 3. Величина удельной мощности электрического тока в момент формирования электрического разряда на единицу длины дуги может быть принята в качестве параметра, который характеризует состояние среды в межэлектродном промежутке. **Практическая значимость.** В условиях одинаковой установочной силы электрического тока определена последовательность расположения исследуемых химических соединений в порядке увеличения их влияния на процесс горения дуги. Минимальное влияние наблюдается от каолина, а максимальное – от $Fe-Si$.

Ключевые слова: электрический дуговой разряд; длина дуги; мощность электрического тока; химическое соединение

I. O. VAKULENKO^{1*}, S. O. PLITCHENKO², D. M. MAKAREVYCH³

^{1*}Dep. «Materials Technology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnuzt_textmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1916

²Dep. «Materials Technology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnuzt_textmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-0613-2544

³Dep. «Materials Technology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnuzt_textmat@ukr.net, ORCID 0000-0003-4327-9809

INFLUENCE OF CHEMICAL COMPOUNDS ON THE FORMING OF ELECTRIC ARC

Purpose. The purpose of work is a comparative analysis of chemical compounds influence on the process of electric arc forming and condition of its burning. **Methodology.** Material for an electrode was a wire 3 mm in diameter of low carbon steel with contain of carbon 0.15%. As chemical compounds, which determine the terms of forming of arc welding were used kaolin; $CaCO_3$ with the admixtures of gypsum to 60%; SiO_2 and $Fe-Si$ with the iron concentration to 50%. Researches were conducted at the use of direct electric current and the arc of reverse polarity. As a source of electric current the welding transformer of type PSO-500 was used. On the special stand an initial gap between the electrode and metal-plate was equal to 1–1.5 mm. The interelectrode interval was filled with the probed chemical compounds and it was formed an electric arc. In the moment of electric arc arise the values of electric current and the arc voltage were determined. After the natural break of electric arc, the final size of the gap between electrodes was accepted as the maximal value of the arc lengths. **Findings.** In the conditions of experiment the metal transfer in interelectrode interval corresponded to the drop mechanism. According to external characteristics the ratio between the maximal arc length and the power of electric discharge has the appearance of exponential dependence. Specific power of electric arc characterizes environment of interelectrode interval in the moment of arc forming per unit of its length. **Originality.** 1. On the basis of influence analysis of the studied chemical compounds on the formation processes of electric arc inversely proportional relationship between the power of the electric cur-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

rent and the maximum arc length to the moment of its natural break is defined. 2. The ratio between the maximal arc length and the power of electric current with sufficiently high correlation coefficient is subjected to the exponential dependence. Influence of the studied compounds on the process of electric arc forming is determined using the degree values of the obtained ratio. 3. The value of specific power of electric current in the moment of electric arc forming per unit of its length can be accepted as the parameter, which characterizes the environment in the interelectrode interval. **Practical value.** In the conditions of identical adjusting strength of electric current it is determined the gradation of the studied chemical compounds in the order of increase of their influence on the process of the arc burning. Kaolin has the minimum influence and $Fe - Si$ – the maximal one.

Keywords: welding arc; arc length; power of electric current; chemical compound

REFERENCES

1. Vakulenko I.O., Sokirko V.A., Baskevych O.S. Strukturni peretvorennia v metali zaliznychnoho koleasa pislia dii impulsiv elektrychnoho strumu [Structural transformations in the railway wheel metal after electric current impulses]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 160-163.
2. Vakulenko I.A., Bolshakov V.I. *Morfologiya struktury i deformatsionnoye uprochneniye stali* [Structure morphology and the work-hardening]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2008, 196 p.
3. Krivtsun I.V., Demchenko V.F., Krikent I.V. Model protsessov teplo-, masso- i elektroperenosa v anodnoy oblasti i stolbe svarchoynoy dugi s tugoplavkim katodom [Model of heat, mass and electrical transfer in the anode region and the welding arc column with heat-proof cathode]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic Welding*, 2010, no. 6, pp. 3-11.
4. Leskov G.I. *Elektricheskaya svarchoynaya duga* [Electric welding arc]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1970. 336 p.
5. Zhukov M.F., Kozlov N.P., Pustogarov A.V. *Prielektroodnyye protsessy v dugovykh razryadakh* [Near-electrode processes in the electric arcs]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982. 157 p.
6. Olshanskiy N.A. *Svarka v mashinostroyenii. Tom 1* [Welding in mechanical engineering. Vol. 1]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1978. 504 p.
7. Shcherbakov I.P., Churayev D.V., Svetlov V.N. Issledovaniye izmeneniya submikrorelyefa poverkhnosti mednykh obraztsov pri propuskaniy po nim impulsiv elektrychekogo toka bolshoy plotnosti [Investigation of submicrorelief change of the copper samples surface during the electric current pulse advancing of high density]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki – Journal of Technical Physics*, 2004, vol. 74, issue 4, pp. 139-142.
8. Boulos M.I., Fauchais P., Pfender E. Thermal plasmas: Fundamentals and applications. Vol. 1. New York; London, Plenum press Publ., 1997. 454 p.
9. Vakulenko I.A., Nadezhdin Yu.L., Sokirko V.A. Electric pulse treatment of welding joint of aluminum alloy. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 4 (46), pp. 73-82.
10. Hu J., Tsai H.L. Heat and mass transfer in gas metal arc welding. Pt I: The arc. *Intern. Journal of Heat and Mass Transfer*, 2007, no. 50, pp. 833-846. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.08.025.
11. Wendelstorf J., Simon G., Decker I. Investigation of cathode spot behaviour of atmospheric argon arcs by mathematical modeling. Proc. of 12th Intern. Conf. on gas discharges and their applications. Greifswald, 1997, vol. 1, pp. 62–65.
12. Tanaka M., Yamamoto K., Tashiro S. Metal vapour behaviour in gas tungsten arc thermal plasma during welding. *Welding in the World*, 2008, vol. 52, no. 11/12, pp. 82-88. doi: 10.1007/bf03266686.
13. Moore Ch.E. Ionization potentials and ionization limits derived from the analysis of optical spectra. Washington, NSRDS – NBS 34 Publ., 1970, pp. 46-57.
14. Nestor O.H. Heat intensity and current density distributions at the anode of high current, inert gas arcs. *Journal of Applied Physics*, 1962, no. 33 (5), pp. 1638-1648. doi: 10.1063/1.1728803.
15. Zhu P., Lowke J.J., Morrow R. Prediction of anode temperatures of free burning arcs. *Journal of Applied Physics*, 1995, vol. 28 (7), pp. 1369-1376.
16. Sanders N.A., Pfender E. Measurement of anode falls and anode heat transfer in atmospheric pressure high intensity arcs. *Journal of Applied Physics*, 1984, vol. 55 (3), pp. 714-722. doi: 10.1063/1.333129.

Стаття рекомендована до публікації к.т.н., доц. С. В. Проїдаком (Україна); к.т.н., доц. О. О. Чайковським (Україна)

Поступила до редакції: 15.05.2014

Прийнята до друку: 18.07.2014

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК:669.141:676.017

В. О. САВЧЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Технологія металів», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69063, тел. +38 (061) 769 82 71, ел. пошта savchen2007@yandex.ru, ORCID 0000-0002-4305-0097

ТЕРМОСТІЙКІСТЬ ГРАФІТИЗОВАНОЇ СТАЛІ

Мета. У роботі необхідно здійснити дослідження температурних залежностей механічних властивостей та термостійкості графітизованих сталей в умовах термоциклічних навантажень. Необхідно визначити механічні властивості й показники термостійкості графітизованих сталей та чавуну ВЧ400 у діапазоні температур 20...800 °С. **Методика.** Графітизовані сталі з хімічним складом (мас. %): 0,61...1,04 С; 1,19...1,59 % Si; 0,32...0,37 % Mn; 0,12...0,17 % Al; 0,008...0,014 % S і 0,016...0,025 % P піддавали термічному обробленню за різними режимами. А саме: нагрівання до 810 °С – витримка 2 години; охолодження до 680 °С – витримка 2 години з наступним охолодженням із піччю для забезпечення ферито-перлітної металевої основи з включеннями графіту. Для визначення показників термостійкості (параметр теплових напружень К та критерій стійкості матеріалу при термоциклічному навантаженні С) визначалися показники механічних властивостей графітизованих сталей та чавуну в інтервалі температур 20...800 °С. **Результати.** Встановлено, що внаслідок меншого вмісту вуглецю та меншої кількості графітових включень за показниками граници міцності й пластичності при кімнатних і високих температурах, а також за критеріями термостійкості К та С графітизована сталь перевищує показники високоміцного чавуну ВЧ400. Ця особливість дає можливість використовувати її для виготовлення виробів, що працюють в умовах термоциклічних навантажень. **Наукова новизна.** Визначено границю міцності та відносне видовження графітизованих сталей в інтервалі температур 20...800 °С. Виконано, у порівнянні з високоміцним чавуном марки ВЧ400, розрахунки критеріїв термостійкості: параметру теплових напружень К і критерію стійкості матеріалу при термоциклічному навантаженні С в інтервалі температур 20...800 °С. **Практична значимість.** Показано доцільність використання графітизованої сталі для виготовлення виробів, що працюють в умовах термоциклічних навантажень.

Ключові слова: графітизована сталь; механічні властивості; термостійкість; термоциклічні навантаження

Вступ

В промисловості існують деталі, які працюють в умовах численних термоциклічних навантажень. Вимоги щодо структури та термостійкості металевих матеріалів, для виготовлення вказаних виробів, визначають термін та надійність їх використання [2, 3, 12, 13]. Вважається, що основною властивістю металевого матеріалу за цих умов є спроможність витримувати циклічну теплову дію. Наведене положення зумовлене виникаючим температурним градієнтом в об'ємі виробу, що супроводжується появою термічних напружень, які циклічно змінюються. Численні цикли таких навантажень призводять до розвитку процесів термічної втоми металу. Для виготовлення деталей, що працюють в указаних умовах, широко використовуються високоміцні чавуни та графітизовані сталі. Позитивною властивістю чавунів є їх висока теплопровідність. За цим показником вони перевищують графітизовані сталі, оскільки вміст вуглецю в чавунах в 3...4 рази більше, ніж у сталях. Але порівняно

з графітизованими сталями чавуни мають значно нижчі показники механічних властивостей. Відомо, що довговічність використання виробів за умов термічної втоми залежить від термостійкості матеріалу. Вказаний показник є комплексним і визначається низкою властивостей матеріалу, серед яких рівень виникаючого термічного напруження. Наведена характеристика дозволяє оцінити опір матеріалу зародженню і поширенню термічних і термовтомних тріщин.

З метою оцінки можливості використання графітизованих сталей для виготовлення деталей, які працюють в умовах високих температур, викликає інтерес вивчення впливу вмісту вуглецю та кремнію на показники їх термостійкості. Так, в роботах [4, 7, 8, 11] був виконаний порівняльний аналіз поведінки графітизованих сталей з чавуном ВЧ40 за умови навантажень при підвищених температурах. В [1, 5] під час порівняння числових значень термостійкості графітизованих сталей і чавунів була виявлена перспективність вживання сталей як більш термостійкого матеріалу.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Мета

Метою роботи є дослідження температурних залежностей механічних властивостей та термостійкості графітованих сталей в умовах термоциклічних навантажень.

Методика

Виплавляли графітовану сталь у 60-кілограмовій індукційній печі з основним футеруванням. Легування марганцем здійснювали присадкою в піч феромарганцю марки ФМн-78 (ДСТУ 3547-97). Модифікування виконували присаджуванням у ківш подрібнених феросиліцію ФС-65 (ДСТУ 4127-2002) та алюмінію марки А99 (ГОСТ 11069-74) перед заливанням рідкого металу. Лиття металу здійснювали у сухі піщано-глинисті ливарні форми. Отримані виливки для зручності позначимо: сталі з вмістом 0,8 % С, 1,6 % Si (1), 0,8 % С, 1,2 % Si (2), 1,19 % С, 1,6 % Si (3); 1,19 % С, 1,2 % Si (4) і чавун ВЧ400 (5), при приблизно однаковій концентрації інших елементів (0,32–0,37 % Mn; 0,12–0,17 % Al; 0,008–0,014 % S і 0,016–0,025 % P). Термічну обробку зразків здійснювали в електричних печах опору. Технологія графітуючого відпалу складалася з нагріву до 810 °С, витримки 2 години, охолодження до 680 °С, витримки 2 години, з наступним охолодженням з піччю. Проведена термічна обробка забезпечувала формування ферито-перлітної металевої основи сталей при одночасному зміцненні форми графітових включень.

Визначення показників міцності та пластичності виконували на розривній машині УРМ-5 з максимальним зусиллям 50 кН. Міцність при високих температурах та відносне видовження сталей здійснювали при випробуваннях в інтервалі температур від 100 до 800 °С, згідно з ГОСТ 9651-84. Зразки виготовляли з різьбою згідно з ГОСТ 1497-87 ($d_0 = 5$ мм). Дослідження виконували в умовах машини ГМС-20, з муфельною піччю опору. Показниками термостійкості матеріалів є параметр теплових напружень K та критерій стійкості матеріалу при термоциклічному навантаженні C [9, 10]. Значення вказаних характеристик визначаються за співвідношеннями:

$$K = \frac{\lambda \sigma_B}{\alpha E}, [\text{Вт/М}]; C = \frac{\lambda \sigma_B \delta}{\alpha E}, [\text{Вт/М}], \quad (1)$$

де λ – теплопровідність, Вт/(м·°С), σ_B – границя міцності при розтяганні, δ – відносне видовження, α – коефіцієнт термічного розширення, E – модуль пружності.

Числове значення яких, як видно з наведених формул (1), зростає зі збільшенням теплопровідності (через зменшення градієнта температур i , відповідно, величини термічних напружень в стінках форми), міцності та пластичності, що стримують зародження та розповсюдження термовтомних тріщин, а також зі зменшенням коефіцієнта термічного розширення α та модуля пружності E .

Результати

В результаті досліджень були побудовані графіки температурних залежностей механічних властивостей та показників термостійкості графітованих сталей різного хімічного складу та чавуну ВЧ 400, які наведені на рис. 1–4. Враховуючи, що чим менша величина термічного розширення, тим менших деформацій буде зазнавати матеріал, внаслідок чого слід очікувати зростання опору зародженню тріщин термічної втоми.

За даними [6] з підвищенням температури до 400 °С межа міцності вуглецевих сталей незначно підвищується, що пояснюється процесами старіння, які супроводжуються виділенням різноманітних дисперсних структурних складових (карбіди, нітриди). На противагу цьому, для досліджуваних сталей було визначено (рис. 1), що з підвищенням температури до 400 °С межа міцності однозначно знижувалася. Так, для сталей з вмістом вуглецю 0,8 % при вмісті кремнію 1,6 %, міцність знизилася з 820 до 750 МПа. Подальше зменшення його концентрації (до 1,2 %) не призвело до зміни характеру залежності міцності металу – практично еквідистантний хід кривих. Хоча загальний рівень значень міцності зменшився. Одне з пояснень наведеного характеру залежностей – наявність в структурі сталей графітових включень.

В той же час з підвищенням температури пластичність сталей (рис. 2) збільшувалася (з 2 при 20 °С до 35 % при 800 °С). Теплопровідність досліджуваних сталей визначається головним чином вмістом вуглецю та структурним станом.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

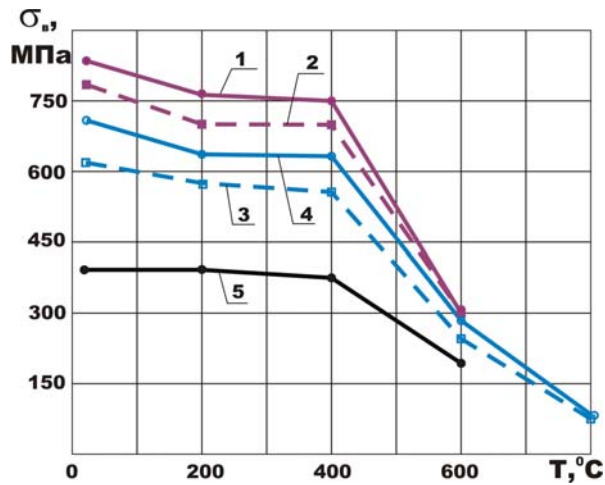


Рис. 1. Температурні залежності межі міцності графітізованої сталі та чавуну ВЧ400:

1 – сталь з вмістом 0,8% С, 1,6% Si; 2 – сталь з вмістом 0,8% С, 1,2% Si; 3 – сталь з вмістом 1,19% С, 1,6% Si; 4 – сталь з вмістом 1,19% С, 1,2% Si; 5 – чавун ВЧ400

Fig. 1. Temperature dependencies of tensile strength of graphitized steel and cast iron VCh400:

1 – steel containing 0.8% C, 1.6% Si; 2 – steel containing 0.8% C, 1.2% Si; 3 – steel containing 1.19% C, 1.6% Si; 4 – steel containing 1.19% C, 1.2% Si; 5 – cast iron VCh400

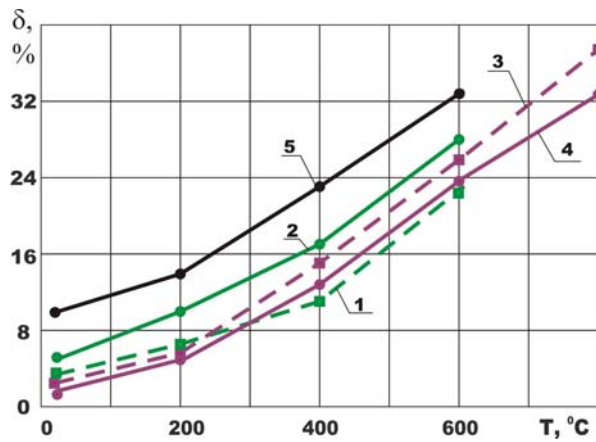


Рис. 2. Температурні залежності відносного видовження графітізованої сталі та чавуну ВЧ400.

Позначення аналогічні рис. 1

Fig. 2. Temperature dependencies of percent elongation of graphitized steel and cast iron VCh400.

Designations are similar to Fig. 1

Результати розрахунків параметра К та критерію С чавуна (рис. 3, 4) показали, що з підвищенням температури параметр К знижувався від 50 Вт/м при 20 °С до 35 Вт/м при 600 °С. Одночасно з цим критерій С підвищувався від 4,0 Вт/м при 20 °С до 8,0 Вт/м при 600 °С. Зменшення параметра К з підвищенням температури-

ри зумовлене зниженням міцності чавуну та модуля пружності, а підвищення значень критерію С – значним зростанням характеристик пластичності з температурою.

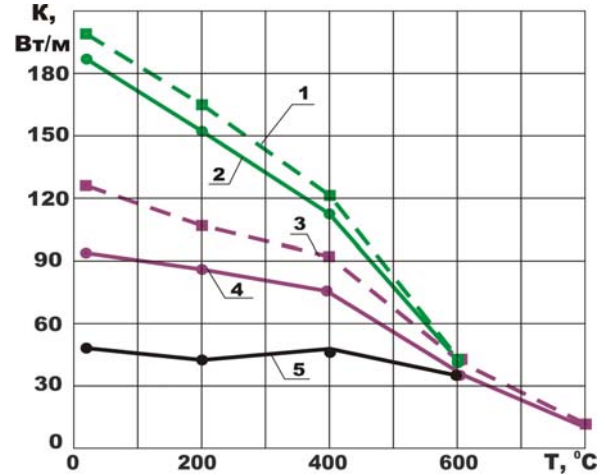


Рис. 3. Температурні залежності параметру теплових напружень графітізованої сталі та чавуну ВЧ400.

Позначення аналогічні рис. 1

Fig. 3. Temperature dependencies of heat stresses parameter of graphitized steel and cast iron VCh400.

Designations are similar to Fig. 1

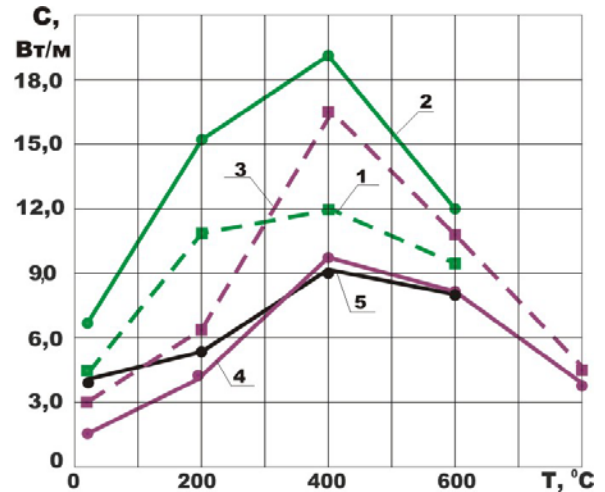


Рис. 4. Температурні залежності критерію стійкості графітізованої сталі та чавуну ВЧ400.

Позначення аналогічні рис. 1

Fig. 4. Temperature dependencies of the resistance criterion of graphitized steel and cast iron VCh400.

Designations are similar to Fig. 1

Параметр теплових напружень К для графітізованих сталей знижується з підвищенням температури, як і для чавунів. Разом з цим слід відзначити, що вказана характеристика при те-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

мпературі 20 °С перевищує в 2,5...4 рази значення для чавуна і досягає практично однакових значень при температурі 600 °С.

Під час розрахунків критерію термостійкості С за співвідношенням (1) для досліджуваних металевих матеріалів був визначений однаковий характер залежності. Так, для графітованих сталей, виявлений екстремум при 400 °С, визначається здебільшого стабілізацією характеристики міцності при зростанні пластичності в інтервалі температур випробувань 200...400 °С. Подальше збільшення температури супроводжувалося зниженням критерію С, що пояснюється розвитком процесів пом'якшення сталей при температурах 600...800 °С. Порівняно з чавунами критерій С для сталей перевищував аналогічний показник в 1,5...2 рази. Отримані результати із застосуванням характеристик К і С (за визначенням термостійкості графітованих сталей порівняно з сірим високоміцним чавуном) знаходять якісне підтвердження відомими експериментальними даними.

На основі результатів досліджень [5] визначено, що завдяки врахуванню критерієм С характеристики пластичності матеріалу, його порівняно з К слід вважати більш об'єктивним показником. Наведене положення при формальному розгляді може бути прийняте завдяки існуванню пропорційної залежності рівня термостійкості металевих матеріалів від величини пластичних властивостей.

Наукова новизна та практична значимість

Визначено границю міцності та відносне видовження графітованих сталей в інтервалі температур 20...800 °С. Виконано (порівняно з високоміцним чавуном марки ВЧ400) розрахунки критеріїв термостійкості: параметра теплових напружень К і критерію стійкості матеріалу при термоциклічному навантаженні С в інтервалі температур 20...800 °С. Доведено доцільність використання графітованої сталі для виготовлення виробів, що працюють в умовах термоциклічних навантажень.

Висновки

Встановлено, що внаслідок більш низького вмісту вуглецю та меншої кількості графітових включень за характеристиками міцності та пла-

стичності, критеріями К та С, графітована сталь перевищує показники високоміцного чавуна ВЧ400. На підставі цього, такі сталі обгрунтовано можуть замінити високоміцні чавуни для виготовлення визначених виробів, що працюють в умовах численних термоциклічних навантажень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов, В. В. Термоуравновешенная изложница / В. В. Абрамов, В. А. Курганов. – М. : Metallurgiya, 1988. – 144 с.
2. Акимов, И. В. Повышение износостойкости графитизированных сталей / И. В. Акимов // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 6 (48) – С. 81–87.
3. Вакуленко, І. О. Металеві матеріали з підвищеною міцністю для виготовлення вагонів / І. О. Вакуленко, В. Г. Анофрієв // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 37. – С. 216–219.
4. Волчок, І. П. Оптимизация состава термостойкой графитизированной стали / И. П. Волчок, А. Ю. Яковлев // Стр-во, материаловедение, машиностроение : сб. научн. тр. под ред. В. И. Большакова. – Вып. 41. Часть 1. – Д. : ПГАСА, 2007. – С. 119–125.
5. Воронова, Н. А. Отливка изложниц из магниевого чугуна / Н. А. Воронова, В. П. Гельд, Н. Т. Ткач // Повышение стойкости изложниц. Темат. отраслевой сб. № 1. – М. : Metallurgiya, 1972. – С. 75–87.
6. Губкин, С. И. Деформируемость металлов / С. И. Губкин. – М. : Metallurgizdat, 1953. – 350 с.
7. Изложницы для слитков легированных сталей / Я. Л. Додин, Л. Г. Саксонов, Л. О. Соколовский, Л. И. Торбочкин. – М. : Metallurgizdat, 1963. – 192 с.
8. Твердопаливни ракетні двигуни. Матеріали і технології / Ф. П. Санін, Л. Д. Кучма, Є. О. Джур, А. Ф. Санін. – Д. : Вид-во ДДУ, 1999. – 318 с.
9. Теплопроводность твердых тел : справочник / под ред. А. С. Охотина. – М. : Энергоиздат, 1984. – 321 с.
10. Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике : справ. / под ред. Б. Е. Неймарка. – М.–Л. : Энергия, 1967. – 240 с.
11. Volchok, I. Heat resistance of graphitized steel / Ivan Volchok, Ivan Akimov, Vera Savchenko // Problems of modern Techniques in Engineering and Education-2009. – Krakow : Zaklad Usług Poligraficznych, 2009. – P. 103–107.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

12. Pat. 5,139,583, C22C38/00. Graphite Precipitated hot-rolled Steel plate having workability and hardenability and method therefore / Yoshikazu Kawabata, Masahiko Morita, Fusao Togashi (USA). – № US19920822649 ; filed. 21.01.92 ; publ. 18.08.92.
13. Pat. US5830285, C21D1/26; C21D1/84, C21D8/06, C22C38/12, C22C38/60. Fine

Graphite uniform dispersion steel excellent in gold Machinability, Cuttability and Hardenability, and production method for the same / Sakae Katayama, Toshimi Tarui, Masahiro Toda, Ken-Ichiro Naito (Japan). – № US19960700355 ; filed. 23.08.96 ; publ. 03.11.98.

В. А. САВЧЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Технология металлов», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69063, тел. +38 (061) 769 82 71, эл. почта savchen2007@yandex.ru, ORCID 0000-0002-4305-0097

ТЕРМОСТОЙКОСТЬ ГРАФИТИЗИРОВАННОЙ СТАЛИ

Цель. В работе необходимо осуществить исследование температурных зависимостей механических свойств и термостойкости сталей в условиях термоциклических нагрузок. Необходимо определить механические свойства и показатели термостойкости графитизированных сталей и чугуна ВЧ400 в диапазоне температур 20...800 °С. **Методика.** Графитизированные стали с химическим составом (мас. %): 0,61...1,04 С; 1,19...1,59 % Si; 0,32...0,37 % Mn; 0,12...0,17 % Al; 0,008...0,014 % S и 0,016...0,025 % P подвергали термической обработке в разных режимах. А именно: нагрев до 810 °С – выдержка 2 часа; охлаждение до 680 °С – выдержка 2 часа с последующим охлаждением с печью для обеспечения феррито-перлитной металлической основы с включениями графита. Для определения показателей термостойкости (параметр тепловых напряжений К и критерий стойкости материала при термоциклической нагрузке С) исследовались показатели механических свойств графитизированных сталей и чугунов в диапазоне температур 20...800 °С. **Результаты.** Установлено, что вследствие меньшего содержания углерода и меньшего количества включений графита по показателям предела прочности и пластичности при комнатных и высоких температурах, а также по критериям термостойкости К и С графитизированная сталь превышает показатели высокопрочного чугуна ВЧ400. Эта особенность дает возможность использовать ее для изготовления изделий, которые работают в условиях термоциклических нагрузок. **Научная новизна.** Определены предел прочности и относительное удлинение графитизированных сталей в диапазоне температур 20...800 °С. Выполнены, в сравнении с высокопрочным чугуном марки ВЧ400, расчеты критериев термостойкости: параметра тепловых напряжений К и критерия стойкости материала при термоциклических нагрузках С в диапазоне температур 20...800°С. **Практическая значимость.** Показана целесообразность использования графитизированной стали для изготовления изделий, которые работают в условиях термоциклических нагрузок.

Ключевые слова: графитизированная сталь; механические свойства; термостойкость; термоциклические нагрузки

V. O. SAVCHENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Metal Technology», Zaporizhzhia National Technical University, Zhukovskiy St., 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69063, tel. +38 (061) 769 82 71, e-mail savchen2007@yandex.ru, ORCID 0000-0002-4305-0097

HEAT RESISTANCE OF GRAPHITIZED STEEL

Purpose. The investigation of temperature dependences of steels' mechanical properties and heat resistance under conditions of thermal cyclic loads. It's necessary to determine the mechanical properties and heat resistance indices of graphitized steels and cast iron VCh400 within the temperature range of 20...800°C. **Methodology.** Graphitized steels of the following chemical composition (mass %): 0.61...1.04C; 1.19...1.59%Si; 0.32...0.37%Mn; 0.12...0.17%Al; 0.008...0.014%S and 0.016...0.025%P have been heat-treated according to the mode: heating up to 810°C – holding for 2 hours; cooling down to 680°C – holding for 2 hours with further cooling using the furnace in order to provide the ferrite-pearlite metallic base with graphite inclusions. In order to determine heat resistance indices (heat stresses index

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

K and the material's resistance criterion at thermal cyclic load C) the indices of graphitized steels' and cast irons' mechanical properties in the temperature range of 20...800°C have been investigated. **Findings.** It has been established that as a result of lower carbon content and smaller quantity of graphite inclusions, graphitized steel exceeds such indices of nodular cast iron VCh400 as: tensile strength and plasticity at room and high temperatures, and also heat resistance criteria K and C. This steel can be used to manufacture articles operating under conditions of thermal cyclic loads. **Originality.** Tensile strength and percent elongation of graphitized steels within the temperature range of 20...800°C have been determined. Calculations of heat resistance criteria to the heat stresses index K and the material's resistance criterion at thermal cyclic loads C within the temperature range 20...800°C in comparison with nodular cast iron of VCh400 grade have been carried out. **Practical value.** The expediency of using graphitized steel for manufacturing of articles operating under conditions of thermal cyclic loads has been shown.

Keywords: graphitized steel; mechanical properties; heat resistance; thermal cyclic loads

REFERENCES

1. Abramov V.V., Kurganov V.A. *Termouravnoveshennaya izlozhnitsa* [Thermally balanced ingot mould]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972. 144 p.
2. Akimov I.V. Povysheniye iznosostoykosti grafityzovannykh staley [Increasing of wear resistance of the graphitized steels]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2013, issue 48, pp. 81-87.
3. Vakulenko I.O., Anofriev V.H. Metalevi materialy z pidvishchenoiu mitsnistiu dlia vyhotovlennia vahoniv [Metallic materials with increased strength for cars manufacture]. *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 37, pp. 216-219.
4. Volchok I.P., Yakovlev A.Yu. Optimizatsiya sostava termostoykoy grafitizirovannoy stali [Optimization of heat resistant graphitized steel composition]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroeniye* [Construction, material science, mechanic engineering], Dnipropetrovsk, 2007, issue 41, part 1, pp. 119-125.
5. Voronova N.A., Geld V.P., Tkach N.T. Otlivka izlozhnits iz magniyevogo chuguna [Casting of ingot moulds from magnesium cast iron]. *Povysheniye stoykosti izlozhnits. Tematicheskyy otraslevoy sbornik № 1* [Increasing of ingot moulds' strength. Thematic and specialized proc. no. 1], Moscow, 1972, pp. 75-87.
6. Gubkin S.I. *Deformiruyemost metallov* [Deformability of metals]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1953. 350 p.
7. Dodin Ya.L., Saksonov L.G., Sokolovskiy L.O., Torbochkin L.I. *Izlozhnitsy dlya sliktov legirovannykh staley* [Ingot moulds for ingots of alloyed steels]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1963. 192 p.
8. Sanin F.P., Kuchma L.D., Dzhur Ye.O., Sanin A.F. *Tverdopalyvni raketni dvyhuny. Materialy i tekhnologii* [Solid-fuel rocket engines. Materials and technologies]. Donetsk, Vydavnytstvo DDU Publ., 1999. 318 p.
9. Okhotin A.S. *Teploprovodnost tverdykh tel* [Heat conductivity of solid bodies]. Moscow, Energoizdat Publ., 1984. 321 p.
10. Neimark B.E. *Fizicheskiye svoystva staley i splavov, primenyayemykh v energetike*. [Physical properties of steels and alloys used in energetics]. Moscow-Leningrad, Energiya Publ., 1967. 240 p.
11. Volchok I., Akimov I., Savchenko V. Heat resistance of graphitized steel. Problems of modern Techniques in Engineering and Education-2009. Krakow, 2009, pp. 103-107.
12. Kawabata Yoshikazu, Morita Masahiko, Togashi Fusao. Graphite Precipitated hot-rolled Steel plate having workability and hardenability and method therefore. Patent USA, no. US19920822649, 1992.
13. Katayama Sakae, Tarui Toshimi, Toda Masahiro, Naito Ken-Ichiro. Fine Graphite uniform dispersion steel excellent in gold Machinability, Cuttability and Hardenability, and production method for the same. Patent Japan, no. US19960700355, 1996.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. А. Мітяєвим (Україна); д.т.н., проф. І. О. Вакулєнком (Україна)

Поступила до редакції: 30.04.2014

Прийнята до друку: 17.06.2014

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

UDC 656.2.078/.09

A. M. OKOROKOV^{1*}

^{1*}Dep. «Management of Operational Work», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 70, e-mail Andrew_okorokoff@mail.ru, ORCID 0000-0002-3111-5519

STRATEGIC MANAGEMENT OF TRANSPORT CARGO COMPLEX

Purpose. Making the qualitative administrative decisions defining strategy and tactics of transport cargo complexes development, and also its subsystems, is possible only in the presence of flexible optimization model. This model has to consider multiparametricity and multicriteriality of the given task, uncertainty and vagueness of input information, and also to provide process automation of searching the best parameters of the given production facility. The purpose of the research is to develop procedures for the strategic management of complex with view of the most important factors and their stochastic nature, which will execute the improvement of technical equipment of TCC. **Methodology.** The problem of strategic management is based on solving the complex of issues of the optimal number of shunting locomotives, optimal processing capability of handling the front and rational capacity of warehouses. The problem is solved on the basis of the proposed optimality criterion – the specific set of profit per unit of capital assets of freight industry. The listed problems are solved using simulation modeling of the freight industry. **Findings.** The use of developed procedure allows one to improve the technical equipment of the freight stations and complexes. **Originality.** For the first time it was developed the procedure of strategic management of development. This procedure allows taking into account the probabilistic nature of demand for services of transport freight complexes and technological processes of client services on the complex stations. The proposed procedure can be applied during when planning the investments in the creation of transport freight complexes. **Practical value.** Use as a basic tool of simulation models of complex cargo operation allows estimating the effectiveness of the capital investments, the level of operating costs, as well as the quality of meeting the demands of potential customers in transportations at the stage of transport cargo complex.

Keywords: management; transport junction; shunting locomotive; processing ability; profit; functional dependence; optimization

Introduction

Making the qualitative administrative decisions defining strategy and tactics of transport cargo complexes (TCC) development, and also its subsystems is possible only in the presence of flexible optimization model. This model should take into account the multiparametricity and multicriteriality of the given task, uncertainty and vagueness of the input information, as well as provide the process automation of searching the best parameters of the given production facility [1, 2, 5].

In this regard during the design, planning and management of the TCC a set of interrelated optimization problems should be considered. Their solution is a multistage iterative process consisting of two mandatory interacting phases. They are planning and regulation. Planning is realizing at the level of strategic management and regulation – at the level of tactical (operational) one [6, 11]. Optimal development strategy of TCC is determined by the parameters reflecting the most important of their relationships, as well as the connections with other

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

subsystems (number of loading and unloading machines, feed to the cargo fronts, the working hours of cargo front during the 24, etc.) [7, 8, 9].

At the present time the researchers developed a number of models designed for managing the different objects of railway transport, which are based on different methods [3, 4, 12, 13], but the issue of planning and management of TCC was not considered at all or was covered in fragments.

Purpose

The purpose of the article is to develop the procedure of strategic management of cargo complexes taking into account the most important factors and their stochastic nature that will improve the technical equipment of DCC.

Methodology

Strategic management of cargo complex provides the formation of the development plan of technological system, first of all, the development of fixed assets of the enterprises that are the part of TCC. Fixed assets, which are used directly during servicing the car traffic volume, include switch powers, means of freight mass processing – freight-handling mechanisms, as well as the corresponding storage equipment. Thus, the main problems of optimal management of the cargo complex at the strategic level include the following ones:

- substantiation of the optimal number of switch powers that will be used for servicing freight trains coming to the transportation junction;
- determination of the optimal processing capacity of handling fronts, namely, determining the necessary number of mechanisms of the certain type providing the appropriate significance of the processing capacity of the front;
- calculation of the storage capacity of transportation junction, sufficient for storage processing of the incoming cargo.

The optimal number of locomotives should ensure demand for TCC services (first technological phase), which is described by the incoming applications (car flow that are coming in groups – in freight trains).

Optimal processing capacity of the cargo front should ensure uninterrupted performing of the service operations of loading and unloading of cars in the transportation junctions (second technological phase). Processing capacity of the front is deter-

mined on the basis of the known number of locomotives that provide car supply to the front and their removal after the service operations.

Optimal capacity of the storage complex should ensure the need for storage of goods (third technological phase), that are coming to the TCC. It is determined on the basis of the known number of switch powers and processing capacity of cargo front.

At the first stage the minimal number of switch powers that will ensure the timely movement of cars, which have arrived to the transportation junction, to the handling fronts and their removal from the front after servicing is calculated. Thus, it is reasonable the assumption on the lack of idle waiting of cars at the handling front for service (this assumption provides sufficient processing capacity of the front, which is provided on the next stage of developing a strategic management plan of TCC):

$$T_{oo}^{bar} \rightarrow 0, \quad (1)$$

where T_{oo}^{bar} – is total downtime of cars at the handling front waiting for the start of servicing, hrs.

According to the accepted efficiency criterion of the TCC operation at the stage of strategic management [5] the following expression can be used as the target function:

$$\Pi_{O\Phi}(N_t) = \frac{D_t - B_t(N_t)}{O\Phi_t(N_t)} \rightarrow \max, \quad (2)$$

where N_t – is the number of switch powers servicing the car traffic volume.

At the initial stages of the simulation, when the technical equipment of cargo complex is uncertain, the mathematical model of justification of optimal number of switch powers includes the assumption of independence of TCC income on the locomotive number:

$$D_t = \text{const}. \quad (3)$$

Among the costs of TCC enterprises it is reasonable to consider in the justification of optimal number of switch powers the operational component E_t as well as in general form – the taxes H_t . In this case the costs for debt capital payments and capital expenditures can be taken equal to zero:

$$C_t = 0, K_t = 0, C_t \neq K_t. \quad (4)$$

The case when K_t is greater than zero, is a kind of task that involves the acquisition of new mate-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

riel with full payment of their value (in this case $C_t = 0$) or partially (in this case, $C_t > 0$).

In general terms, the tax amount of TCC enterprises can be determined on the basis of profits as follows:

$$H_t = (D_t \delta_{VAT} - E_t) \delta_p, \quad (5)$$

where δ_{VAT} – is the rate of value added tax; δ_p – is the rate of income tax.

Note that the costs E_t in the expression (5) is a function of the number of TCC switch powers.

Among the selected in [5] operating cost components the costs associated with the movement of car supply depend functionally on the number of locomotives N_t . Thus, the total operating costs related to the execution of storage operations and the maintenance costs for the operation of handling fronts are constant ones relating to the number of locomotives:

$$E_t^l = E_t^{\text{ckл}} + E_t^{\text{нрф}} = \text{const}. \quad (6)$$

It is assumed in the study that the total balance value of the storage space, handling fronts, approach lines, as well as administrative and household structures of TCC does not depend on the number of switch powers, involved in the servicing of the car traffic volume:

$$B_t^l = B_t^{\text{ckл}} + B_t^{\text{нрф}} + B_t^{\text{пл}} + B_t^{\text{сп}} = \text{const}. \quad (7)$$

Based on the average balance value $B_{\text{од}}^{\text{лок}}$ for one locomotive the value $B_t^{\text{лок}}$ is defined as follows:

$$B_t^{\text{лок}} = B_{\text{од}}^{\text{лок}} N_t. \quad (8)$$

Taking into account the above mentioned assumptions the objective function for the task of determining the optimal number of locomotives can be written as:

$$\Pi_{\text{оф}}(N_t) = \frac{[D_t (1 - \delta_{VAT} \delta_p) - (1 - \delta_p) E_t^l]}{B_t^l + B_{\text{од}}^{\text{лок}} N_t} - \frac{(1 - \delta_p) E_t^{\text{пл}}(N_t)}{B_t^l + B_{\text{од}}^{\text{лок}} N_t} \rightarrow \max. \quad (9)$$

To solve the task of finding the extremum of function (9) regarding N_t it is necessary to deter-

mine the functional dependence $E_t^{\text{пл}}(N_t)$. Using the calculation principle adopted in [5] the operational costs associated with the movement of car supply on the TCC territory during the period t can be represented as follows:

$$E_t^{\text{пл}} = \sum_{i=1}^{N_t} \left[c_{\text{пост}i}^{\text{лок}} \tilde{t}_{\text{оч}i}^{\text{лок}} + c_{3\text{м}i}^{\text{лок}} \tilde{t}_{\text{р}yx\text{м}i}^{\text{лок}} + \sum_{j=1}^{\tilde{N}_{\text{wi}}^l} \left(c_{\text{пост}j}^{\text{ван}} \tilde{t}_{\text{оч}j}^{\text{ван}} + c_{3\text{м}ij}^{\text{ван}} \tilde{t}_{\text{пер}j}^{\text{ван}} + c_{\text{пост}j}^{\text{пор}} \tilde{t}_{\text{оч}j}^{\text{пор}} + c_{3\text{м}kj}^{\text{пор}} \tilde{t}_{\text{пер}j}^{\text{пор}} \right) \right], \quad (10)$$

where \tilde{N}_{wi}^l – is a number of cars, serviced by i locomotive during the period t ; $c_{\text{пост}i}^{\text{лок}}$ – is the fixed costs concerning the operation of the i switch power, hrn/hr; $\tilde{t}_{\text{оч}i}^{\text{лок}}$ – is the total downtime of the i locomotive waiting for the arrival of freight train or the end car servicing at the front of freight operations, hr; $c_{3\text{м}i}^{\text{лок}}$ – is unit costs for operation of the i locomotive during its movement, hrn/hr; $\tilde{t}_{\text{р}yx\text{м}i}^{\text{лок}}$ – is total time of idling of the i locomotive when servicing the car traffic volume during the period t , hr; $c_{\text{пост}j}^{\text{ван}}$ – is unit costs for downtime of the j car in the loaded condition, hrn/hr; $\tilde{t}_{\text{оч}j}^{\text{ван}}$ – is time of idling of the j car in the loaded condition waiting for the delivery to the freight operation front, hr; $c_{3\text{м}ij}^{\text{ван}}$ – is unit costs for displacement of the j car by the i locomotive to the freight operation front, hrn/hr; $\tilde{t}_{\text{пер}j}^{\text{ван}}$ – is the time of displacement of the j car to the front of freight operation, hr; $c_{\text{пост}j}^{\text{пор}}$ – is unit costs for down time of the j car in the unloaded condition, hrn/hr; $\tilde{t}_{\text{оч}j}^{\text{пор}}$ – is down time of the j car in the unloaded condition when waiting for removal of the freight operation front, hr; $c_{3\text{м}kj}^{\text{пор}}$ – is unit costs for removal of the j car by the k locomotive from the freight operation front ($k = 1 \dots N_t$), hrn/hr; $\tilde{t}_{\text{пер}j}^{\text{пор}}$ – is the time of displacement of the j car from the front of freight operation, hr.

Unit costs for displacement of the loaded cars to the handling front and for removal of empty cars from the front are determined on the basis of costs for idling of cars in loaded or unloaded state respectively, unit costs of the locomotive to displace, as well as the number of cars in the supply:

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

$$c_{3mj}^{\text{ван}} = c_{\text{пост } j}^{\text{ван}} + \frac{c_{3mi}^{\text{лок}}}{\tilde{n}_{\text{вп}j}}, \quad (11)$$

$$c_{3mkj}^{\text{пор}} = c_{\text{пост } j}^{\text{пор}} + \frac{c_{3mk}^{\text{лок}}}{\tilde{n}_{\text{вп}j}}, \quad (12)$$

where $\tilde{n}_{\text{вп}j}$ – is the number of cars in the supply, which include the j car.

Time technological indices that make up the expression (10) and the number of cars in the supply $\tilde{n}_{\text{вп}j}$ are random variables whose values depend on the number of switch powers used when servicing the car traffic volumes. Therefore, the values of operating costs $E_t^{\text{тп}}$ are calculated using the simulation modeling of service process and estimation of the dependency $E_t^{\text{тп}}(N_l)$ is possible on the basis of regression analysis of the results of simulation experiment conducted for the given parameters of TCC.

Solving the problem of maximizing the objective function (9) by choosing the optimal value of the parameter N_l is possible taking into account the following restrictions:

1) the value of the parameter N_l is an integer greater than 1:

$$N_l \geq 1, N_l \in \mathbb{Z}, \quad (13)$$

where \mathbb{Z} – is a set of integers;

2) the total number of cars that were delivered as a part of freight trains within the period of time t , is equal to the total number of cars that were delivered to the front of freight operation by all the switch powers of the station (i.e., it is expected no-failure operation of the serving system – all the demand for transport services is provided):

$$\sum_{i=1}^{N_T} \tilde{N}_{wi} = \sum_{j=1}^{N_l} \sum_{k=1}^{\tilde{N}_{\text{вп}j}^{\text{ван}}} \tilde{n}_{\text{вп}jk}^{\text{ван}}, \quad (14)$$

where N_T – is a number of freight trains, that were delivered to the TCC during the investigated period of time, trains/period; $\tilde{N}_{\text{вп}j}^{\text{ван}}$ – is the number of car supplies that are serviced by the j locomotive when delivering cars to the handling front; $\tilde{n}_{\text{вп}jk}^{\text{ван}}$ – is the number of cars in the k supply that are serviced by the j locomotive when delivering the cars to the freight operation front;

3) the total number of cars that were delivered to the front of handling operations is equal to the total number of cars that were removed from the front by switch motors (i.e. all the cars that were delivered to the handling front should be serviced):

$$\sum_{j=1}^{N_l} \sum_{k=1}^{\tilde{N}_{\text{вп}j}^{\text{ван}}} \tilde{n}_{\text{вп}jk}^{\text{ван}} = \sum_{j=1}^{N_l} \sum_{k=1}^{\tilde{N}_{\text{вп}j}^{\text{пор}}} \tilde{n}_{\text{вп}jk}^{\text{пор}}, \quad (15)$$

where $\tilde{N}_{\text{вп}j}^{\text{пор}}$ – is the number of supplies of the serviced cars that the j locomotive removes from the handling front; $\tilde{n}_{\text{вп}jk}^{\text{пор}}$ – is the number of cars serviced in the k supply. They being removed from the handling front by the j locomotive.

Processing capacity of the handling front is determined on the basis of performance of handling mechanisms (HM) used at the front for servicing the cars. In general terms, the processing capacity of the front $W_{\text{вф}}$ is the following sum:

$$W_{\text{вф}} = \sum_{i=1}^{N_g} w_i, \quad (16)$$

where N_g – is the number of the HM, included to the handling front; w_i – is the performance of the i HP, tn/hr.

In case when for calculating of the processing capacity the average value of the performance mechanism w_g is used the expression (16) can be written as follows:

$$W_{\text{вф}} = N_g \cdot w_g. \quad (17)$$

When the w_g value is known, the estimation task of the optimal processing capacity of the handling front is transformed into the task of justification of the optimal number of mechanisms N_g . Similar to the expression (2) the objective function to solve this problem is the maximum value of the profit per unit for cost unit of the capital assets:

$$\Pi_{\text{ОФ}}(N_g) = \frac{D_t - B_t(N_g)}{\text{ОФ}_t(N_g)} \rightarrow \max. \quad (18)$$

When solving task (18) the assumption (3) and (4) are also appropriate. It is reasonable to represent the operating costs for cargo complex operation for this task as:

$$E_t = E_t^g + E_t^{\text{нпф}}, \quad (19)$$

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

where E_t^g – is the constant of operating costs relative to N_g , hrn:

$$E_t^g = E_t^{\text{ckл}} + E_t^{\text{пл}} = \text{const} . \quad (20)$$

Fixed assets of the TCC enterprises when solving the task (18) is also reasonable to divide into the constant component relative to N_g and the component that depends on the number of HM:

$$\text{OФ} = B_t^g + B_t^{\text{HPФ}} , \quad (21)$$

where B_t^g – the total balance value of the storage space, switch locomotives, access lines, as well as the administrative and household structures of the cargo complex, hrn:

$$B_t^g = B_t^{\text{ckл}} + B_t^{\text{лoк}} + B_t^{\text{пл}} + B_t^{\text{cп}} = \text{const} . \quad (22)$$

The balance value of the handling front equipment can be determined on the basis of average balance value for one mechanism $B_{\text{од}}^{\text{мex}}$:

$$B_t^{\text{HPФ}} = B_{\text{од}}^{\text{мex}} N_g . \quad (23)$$

Thus, the objective function for the problem of determining the optimal number of HM, taking into account the adopted notations and assumptions, as well as the relationship (5) can be written as follows:

$$\Pi_{\text{OФ}}(N_g) = \frac{[D_t(1 - \delta_{\text{VAT}} \delta_p) - (1 - \delta_p) E_t^g]}{B_t^g + B_{\text{од}}^{\text{мex}} N_g} - \frac{(1 - \delta_p) E_t^{\text{HPФ}}(N_g)}{B_t^g + B_{\text{од}}^{\text{мex}} N_g} \rightarrow \text{max} . \quad (24)$$

Operating costs for the operation of handling fronts when serving customers over the period t can be determined for known values of the HM downtime waiting for the arrival of cars, downtime of cars during maintenance and downtime of cars waiting for the start of service at the front:

$$E_t^{\text{HPФ}} = \sum_{i=1}^{N_g} \left[c_{\text{пocт}i}^{\text{мex}} \tilde{t}_{\text{оч}i}^{\text{мex}} + \sum_{j=1}^{\tilde{N}_{wi}^g} \left(c_{\text{пocт}j}^{\text{ван}} (\tilde{t}_{\text{оч}j}^{\phi} + \tilde{t}_{\text{обcл}j}) + c_{3\text{м}i}^{\text{мex}} \tilde{t}_{\text{обcл}j} \right) \right] , \quad (25)$$

where \tilde{N}_{wi}^g – is the number of cars that were serviced by the i HM during the period t ; $c_{\text{пocт}i}^{\text{мex}}$ – is

the unit cost of the lost hour for i mechanism, hrn/hr; $\tilde{t}_{\text{оч}i}^{\text{мex}}$ – is the total downtime of the i mechanism during the period t , hr.; $\tilde{t}_{\text{оч}j}^{\phi}$ – is the downtime of the j car in loaded condition waiting for the start of service at the handling front, hr.; $c_{3\text{м}i}^{\text{мex}}$ – is the unit cost of servicing the car by the i mechanism, hrn/hr; $\tilde{t}_{\text{обcл}j}$ – is the service time of the j car at the handling front, hr.

Determination of functional dependence $E_t^{\text{HPФ}}(N_g)$ as the dependence $E_t^{\text{пл}}(N_t)$ is based on the processing of the simulation experiment results.

Maximization of the objective function (9) by choosing the optimal value of N_g is performed on the basis of the following restrictions:

1) number of HM is an integer larger than 1:

$$N_g \geq 1, N_g \in \mathbb{Z} ; \quad (26)$$

2) the total number of cars that came to cargo complex is equal to the total number of cars that were serviced at the front (all the cars coming to the TCC are served on the handling front):

$$\sum_{i=1}^{N_T} \tilde{N}_{wi} = \sum_{j=1}^{N_g} \tilde{N}_{wj}^g . \quad (27)$$

The optimal capacity of storage is determined on the basis of data on incoming cargo traffic. The source of input material flow is the car supplies that are serviced at the handling front, as well as the means of other transport modes that interact with the railway transport in the junction.

Let us consider in detail the capacity optimization of storage facilities used for storing and processing of goods that are delivered by railway transport.

The average intensity of cargo receipt λ_{BX} from the handling front for the period t is determined as the ratio of received cargo to the period of time based on the known value of the cargo share, which is overloaded by direct option (from the railway cars to other transport modes):

$$\lambda_{\text{BX}} = \frac{1 - \eta_{\text{np}}}{t} \sum_{i=1}^{\tilde{N}_T} \sum_{j=1}^{\tilde{N}_{wi}} q_{ij} \gamma_{ij} , \quad (28)$$

where η_{np} – is the cargo share that is overloaded using the direct option.

If the known intensity of shipment from the storage λ_{BX} (to other transport modes for further deliv-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

ery), the cargo volume $Q_{\text{скл}}^t$ that is constantly kept in stock for the period t , can be determined as follows:

$$Q_{\text{скл}}^t = (\lambda_{\text{вх}} - \lambda_{\text{вих}}) t. \quad (29)$$

The value $Q_{\text{скл}}^t$ reflects value of the required storage capacity for servicing the material flow with set characteristics $\lambda_{\text{вх}}$ and $\lambda_{\text{вих}}$.

On the basis of $Q_{\text{скл}}^t$ and the known value of the admissible loading $\sigma_{\text{скл}}$ for 1 m² of the storage the required area of storage can be calculated using the formula:

$$S_{\text{скл}} = \frac{Q_{\text{скл}}^t}{\sigma_{\text{скл}}}. \quad (30)$$

It should be noted that the value $Q_{\text{скл}}^t$ does not reflect the total amount of certain constantly stored consignments. It is the accumulated value that indicates the average amount of cargo in stock at the end of period t . In this case, the calculation of cargo amount stored in the stock for the period t using the formula (29) is based on the assumption of uniformity of receipt and export of goods, when for the real object these processes are discrete in time and uneven.

The intensity of shipment is resulting indicator that reflects the interaction process in the cargo junction of several transport modes. If we consider the TCC system as the set of elements that interact in the process of moving cargo weight, the transport removing cargoes from transport junction is considered as the element of TCC system when performing operations within the storage complex only. When delivering the goods after their removal from the cargo complex the vehicles that perform these operations are considered as the elements of outside environment.

For this assumption the output intensity of cargo traffic volume $\lambda_{\text{вих}}$ is a random variable that is defined as follows:

$$\lambda_{\text{вих}} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^{\tilde{N}_v} v_i, \quad (31)$$

where \tilde{N}_v – is a random variable of the amount of transport modes that arrived to the cargo complex to remove the cargo during the period t ; v_i – is the amount of cargo that is removed by the i transport mode, tn.

It should be noted that with the known value of the average interval of transport mode coming to the TCC for removal of cargo, the mathematical expectation of the value \tilde{N}_v is defined using the formula:

$$\mu(\tilde{N}_v) = \frac{t}{\mu(\tilde{\zeta}_{\text{вих}})}, \quad (32)$$

where $\mu(\tilde{N}_v)$ – is mathematical expectation of the number of transport modes that were removing cargo from the TCC during the period t ; $\tilde{\zeta}_{\text{вих}}$ – is random variable of the arrival interval to the TCC of transport modes removing cargo, hr.; $\mu(\tilde{\zeta}_{\text{вих}})$ – is mathematical expectation of the random variable $\tilde{\zeta}_{\text{вих}}$, hr.

It should be noted that in determining the numerical values of cargo removal intensity from the storage it is necessary to take into account possible downtime (related to lack of cargo) of the vehicles arrived to TCC for loading. Therefore, the most appropriate instrument for selection of the value $\lambda_{\text{вих}}$ is the simulation experiment.

The system of storage facilities of cargo complex is not cumulative, i.e. the total amount of cargo arrived to the storage for a certain period of time T , which is considered in the process model, should be equal to the total cargo volume that was removed from the storage:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_{\text{вх}i} t_i = \sum_{i=1}^n \lambda_{\text{вих}i} t_i, \quad (33)$$

where n – is the number of consecutive time periods; t_i – is the duration of the i period of time,

hr.; $\sum_{i=1}^n t_i = T$.

Taking into account (33) the value $Q_{\text{скл}}^t$ for the period $t = T$ will be equal to zero. That is there is no need for storage facilities, since in the operation of the system according to the conditions (33) a uniform accumulation of cargo in stock and its removal out of it will take place. For real objects, which are characterized by uneven supply and removal of cargo, the need for storage facilities arises in situations when the received cargo is not fully removed from the storage to the date of the next batch.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

In this case, the need for storage facilities $Q_{\text{скл}}^{\text{потр}}$ is determined by the maximum current cargo volume:

$$Q_{\text{скл}}^{\text{потр}} = \max_{i=1..n} Q_{\text{скл}}^i, \quad (34)$$

where $Q_{\text{скл}}^i$ – is the current cargo volume, that is in stock during the period t_i , tn.

Operating costs for the operation of storage facilities can be determined on the basis of the self cost of $1 \text{ tn} \times \text{h}$. for cargo storage:

$$E_t^{\text{скл}} = c_{\text{скл}} \sum_{i=1}^n Q_{\text{скл}}^i t_i, \quad (35)$$

where $c_{\text{скл}}$ – is unit cost of the storage of 1 tn. of cargo during 1 hr., hrn/tn hr.

As you can see, the component of operating cost $E_t^{\text{скл}}$ does not depend on the capacity of storage space, so, taking into account the assumptions (3) and (4) one can state that the costs of TCC enterprises are constant relative to the capacity of storages. Then according to the adopted performance criterion the objective function to solve the task of optimal capacity justification of the storage facilities has the following form:

$$\Pi_{\text{ОФ}}(Q_{\text{скл}}) = \frac{D_t - B_t}{\text{ОФ}_t(Q_{\text{скл}})} \rightarrow \max. \quad (36)$$

The fixed assets of TCC enterprises can be represented as the sum of the constant component relative to the $Q_{\text{скл}}$ and the component that depends on the storage capacity:

$$\text{ОФ} = B_t^w + B_t^{\text{скл}}, \quad (37)$$

where B_t^w – is the total balance cost of the cargo front equipment, switch powers, access lines, as well as the administrative and household structures of the cargo complex, hrn:

$$B_t^w = B_t^{\text{нрф}} + B_t^{\text{лок}} + B_t^{\text{пл}} + B_t^{\text{сп}} = \text{const}. \quad (38)$$

The balance value of the storage facilities can be represented as the product of the storage area and the average balance value of equipment $B_{\text{кв.м}}^{\text{скл}}$ for 1 m^2 of the surface:

$$B_t^{\text{скл}} = B_{\text{кв.м}}^{\text{скл}} \frac{Q_{\text{скл}}}{\sigma_{\text{скл}}}. \quad (39)$$

Taking into account the adopted notations the objective function for the task of justification of the storage optimal capacity on the basis of (36) can be written as follows:

$$\Pi_{\text{ОФ}}(Q_{\text{скл}}) = \frac{D_t - B_t}{B_t^w + B_{\text{кв.м}}^{\text{скл}} \frac{Q_{\text{скл}}}{\sigma_{\text{скл}}}} \rightarrow \max. \quad (40)$$

The limits to solve the task (40) should provide that the value of the storage capacity should meet the requirements for storage spaces:

$$Q_{\text{скл}} \geq Q_{\text{скл}}^{\text{потр}}. \quad (41)$$

Primary analysis of the function $\Pi_{\text{ОФ}}(Q_{\text{скл}})$ suggests that the function takes maximum value at the minimum possible value $Q_{\text{скл}}$. Taking into account (41) and (34) one can conclude that for the adopted performance criteria of TCC operation the optimal capacity of storage is equal to the maximum value of cargo volume that is in stock over some period of time. In the above mentioned formulation to solve this task is possible only on the basis of simulation modeling of the process of receiving and removal of cargo from the storage.

According to the proposed methodology of strategic management, the optimal number of locomotives is defined in two stages:

– determination of the optimal number of locomotives when servicing the cars providing the absence of downtime waiting for the start of unloading after arrival to the handling front. At this the condition (1) is fulfilled, and the total balance value of the handling front equipment is assumed to be equal to zero (since at this stage the number of HM is unknown);

– clarification of the number of switch motors taking into account the known value of the optimal number of HM at the cargo front. At this the number of locomotives is determined on the basis of the known balance value of the handling front equipment.

After clarification of the optimal number of switch motors it is carried out the re-modeling of the cargo complex operation for the known number of HM in order to determine the intensity of the input cargo traffic volumes to the storage complex. On the basis of the parameters of incoming and outgoing cargo, as well as the technical and economic performance of the storage operation its optimal capacity is determined.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Findings

As a result of the studies it is determined the dependencies of technical parameters of the transport cargo complex operation on the technical parameters – the number of switch motors, handling machines and storage area, as well as the formed limitations for these dependencies.

The obtained dependencies make it possible to determine the costs for organization and technical equipment of TCC at the stage of the system design, and optimize the technical equipment to improve the operation of the existing facilities.

Originality and practical value

For the first time it was developed strategic management of the development, which allow taking into account the probabilistic nature of demand for TCC services and technological processes of customer servicing at the TCC stations. The proposed procedure can be applied when planning investments in TCC.

Conclusions

The proposed procedure of strategic management of TCC development requires the consistent justification of the optimal number of switch motors, determination of the optimal processing capacity of handling fronts, as well as calculating the storage capacity of transport junction. Use the simulation models of cargo complex operation as the main tool allow taking into account the probabilistic nature of demand for TCC services and technological processes of customer service at the cargo complex stations.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Бауэрсокс, Д. Д. Логистика: интегрированная цепь поставок / Д. Д. Бауэрсокс, Д. Д. Клосс. – М. : ЗАО «Олимп-Бизнес», 2008. – 640 с.
2. Боровиков, В. П. STATISTICA – Статистический анализ и обработка данных в среде Windows / В. П. Боровиков, И. П. Боровиков. – М. : Информ.-изд. дом «Филинь», 1998. – 608 с.
3. Козаченко, Д. Н. Математическая модель для оценки технико-технологических показателей работы железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 3 (45). – С. 22–28.
4. Лашених, О. А. Дослідження транспортно-складської системи методом головних компонентів / О. А. Лашених, С. М. Турпак, С. В. Грицай // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 208–216.
5. Логистика: управление в грузовых транспортно-логистических системах : учеб. пособие / под ред. Л. Б. Миротина. – М. : Юристъ, 2002. – 414 с.
6. Многоуровневая схема стратегического планирования транспортно-логистического комплекса и характеристика решаемых задач [Electronic resource]. – Available at: <http://www.bizeducation.ru/library/log/trans/3/multilevel.htm>. – Title from the screen.
7. Нагорний, Є. В. Методика оцінки ефективності створення транспортно-вантажних комплексів в Дніпропетровському транспортному вузлі / Є. В. Нагорний, А. М. Окорочков // Зб. наук. пр. ДНУЗТ «Трансп. системи та технології перевезень». – Д., 2012. – Вип. 3. – С.73–76.
8. Окорочков, А. М. Використання супутникових систем позиціонування об'єктів для удосконалення управління вантажними комплексами / А. М. Окорочков // Зб. наук. пр. ДНУЗТ «Трансп. системи та технології перевезень». – Д., 2013. – Вип. 5. – С. 54–57.
9. Окорочков, А. М. Методика тактичного управління транспортним вантажним комплексом / А. М. Окорочков // Східно-Європ. журн. передових технологій. – 2012. – № 6/3 (60). – С. 15–18.
10. Транспортна стратегія України на період до 2020 року : Розпорядження Каб. Міністрів України від 20 жовтня 2010 № 2174 [Electronic resource]. – Available at: <http://zakon.rada.gov.ua>. – Title from the screen.
11. Цели, задачи и структура транспортно-логистических комплексов [Electronic resource]. – Available at: <http://www.bizeducation.ru/library/log/trans/3/complex.htm> – Title from the screen.
12. Giua, A. Modeling and supervisory control of railway networks using Petri nets / A. Giua, C. Seatzu // IEEE Trans. on Automation Science and Engineering. – 2008. – Vol. 5, № 3. – P. 431–445. doi: 10.1109/TASE.2008.916925.
13. Parunakjan, V. Modelling of transport-and-handling sites operation with metallurgical enterprises / V. Parunakjan, M. Aksenov, E. Sizova // Transport problems. – 2013. – Vol. 8. – Iss. 3. – P. 121–129.

А. М. ОКороков^{1*}

^{1*}Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70, ел. пошта andrew_okorokoff@mail.ru, ORCID 0000-0002-3111-5519

СТРАТЕГІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМ ВАНТАЖНИМ КОМПЛЕКСОМ

Мета. Прийняття якісних управлінських рішень, що визначають стратегію й тактику розвитку транспортно-вантажних комплексів, а також його підсистем, можливо лише при наявності гнучкої оптимізаційної моделі. Дана модель повинна враховувати багатопараметричність та багатокритеріальність поставленої задачі, невизначеність та нечіткість вхідної інформації, а також забезпечувати автоматизацію процесу пошуку найкращих параметрів даного виробничого об'єкта. Метою дослідження є розробка процедури стратегічного управління вантажними комплексами з урахуванням найбільш вагомих факторів та їх стохастичної природи, яка дозволить виконати удосконалення технічного оснащення транспортних вантажних комплексів (ТВК). **Методика.** Рішення задачі стратегічного управління базується на розв'язанні комплексу питань із визначення оптимальної кількості маневрових локомотивів, оптимальної переробної спроможності навантажувально-розвантажувальних фронтів та раціональної місткості складських приміщень. Задачі вирішуються на базі запропонованого критерію оптимальності – питомого прибутку комплексу на одиницю вартості основних фондів вантажного комплексу. Перелічені задачі вирішуються за допомогою імітаційного моделювання роботи вантажного комплексу. **Результати.** Використання розробленої процедури дозволяє виконати удосконалення технічного оснащення вантажних станцій та комплексів. **Наукова новизна.** Вперше розроблено процедуру стратегічного управління розвитком, який дозволяє врахувати ймовірнісну природу попиту на послуги транспортних вантажних комплексів і технологічних процесів обслуговування клієнтури на станціях транспортних вантажних комплексів. Запропонована процедура може бути застосована при плануванні інвестицій у створення транспортних вантажних комплексів. **Практична значимість.** Використання в якості основного інструменту імітаційних моделей функціонування вантажного комплексу дозволяє виконати оцінку ефективності капітальних вкладень, рівня експлуатаційних витрат, а також якості задоволення потреб потенційних клієнтів у перевезеннях ще на стадії проектування транспортного вантажного комплексу.

Ключові слова: управління; транспортний вузол; маневровий локомотив; переробна спроможність; прибуток; функціональна залежність; оптимізація

А. М. ОКороков^{1*}

^{1*}Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70, эл. почта andrew_okorokoff@mail.ru, ORCID 0000-0002-3111-5519

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМ ГРУЗОВЫМ КОМПЛЕКСОМ

Цель. Принятие качественных управленческих решений, определяющих стратегию и тактику развития транспортных грузовых комплексов, а также его подсистем, возможно только при наличии гибкой оптимизационной модели. Данная модель должна учитывать многопараметричность и многокритериальность поставленной задачи, неопределенность и нечеткость входной информации, а также обеспечивать автоматизацию процесса поиска наилучших параметров данного производственного объекта. Целью исследования является разработка процедуры стратегического управления грузовыми комплексами с учетом наиболее значимых факторов и их стохастической природы, которая позволит выполнить усовершенствование технического оснащения транспортных грузовых комплексов (ТГК). **Методика.** Решение задачи стратегического управления базируется на решении комплекса вопросов по определению оптимального количества маневровых локомотивов, оптимальной перерабатывающей способности погрузочно-разгрузочных фронтонтов и рациональной вместимости складских помещений. Задачи решаются на базе предложенного критерия оптимальности – удельной прибыли комплекса на единицу стоимости основных фондов грузового комплекса. Перечисленные задачи решаются с помощью имитационного моделирования работы транспортных грузовых комплексов. **Результаты.** Использо-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

вание разработанной процедуры позволяет выполнить усовершенствование технического оснащения грузовых станций и комплексов. **Научная новизна.** Впервые разработана процедура стратегического управления развитием, которая позволяет учесть вероятностную природу спроса на услуги транспортных грузовых комплексов и технологических процессов обслуживания клиентуры на станциях комплекса. Предложенная процедура может быть применена при планировании инвестиций в создание транспортных грузовых комплексов. **Практическая значимость.** Использование в качестве основного инструмента имитационных моделей функционирования грузового комплекса позволяет выполнить оценку эффективности капитальных вложений, уровня эксплуатационных расходов, а также качества удовлетворения потребностей потенциальных клиентов в перевозках еще на стадии проектирования транспортного грузового комплекса.

Ключевые слова: управление; транспортный узел; маневровый локомотив; перерабатывающая способность; прибыль; функциональная зависимость; оптимизация

REFERENCES

1. Bauersoks D.D., Kloss D.D. *Logistika: integrirovannyya tsep postavok* [Logistics: integrated delivery chain]. Moscow, ZAO «Olimp-Biznes» Publ., 2008. 640 p.
2. Borovikov V.P., Borovikov I.P. *STATISTICA – Statisticheskii analiz i obrabotka dannykh v srede Windows* [STATISTICA – Statistical analysis and processing of data in Windows]. Moscow, Inform.-izd. dom «Filin» Publ., 1998. 608 p.
3. Kozachenko D.N. Matematicheskaya model dlya otsenki tekhniko-tekhnologicheskikh pokazateley raboty zheleznodorozhnykh stantsiy [Mathematical model for assessment of technological values of operation of the railway station]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 45, pp. 22-28.
4. Lashchenykh O.A., Turpak S.M., Hrytsai S.V. Doslidzhennia transportno-skladskoi systemy metodom holovnykh komponentiv [Studies of storage/retrieval system using the method of principal components]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 208-216.
5. Mirotin L.B. *Logistika: upravleniye v gruzovykh transportno-logisticheskikh sistemakh* [Logistics: management in freight transport-logistic systems]. Moscow, Yurist Publ., 2002. 414 p.
6. *Mnogourovnevaya skhema strategicheskogo planirovaniya transportno-logisticheskogo kompleksa i kharakteristika reshayemykh zadach* (Multilevel circuit of strategic planning of transport and logistics complex and characterization of tasks). Available at: <http://www.bizeducation.ru/library/log/trans/3/multilevel.htm> (Accessed 8 April 2014).
7. Nahorniye Ye.V., Okorokov A.M. Metodyka otsinky efektyvnosti stvorennia transportno-vantazhnykh kompleksiv v Dnipropetrovskomu transportnomu vuzli [Methods of assessing the effectiveness of the creation of transport and freight systems in the Dnipropetrovsk transport junction]. *Transportni systemy ta tekhnolohii perevezhen* [Transport systems and technologies], 2012, issue 3, pp. 73-76.
8. Okorokov A.M. Vykorystannia sputnykovykh system pozytsionuvannia ob'ektiv dlia udoskonalennia upravlinnia vantazhnykh kompleksamy [The use of satellite systems of objects positioning to improve the management of freight complexes]. *Transportni systemy ta tekhnolohii perevezhen* [Transport systems and technologies], 2013, no. 5, pp. 54-57.
9. Okorokov A.M. Metodyka taktychnoho upravlinnia transportnym vantazhnykh kompleksom [Method of tactical management of the transport cargo complex]. *Skhidno-Yevropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii – Eastern European journal of advanced technologies*, 2012, no. 6/3 (60), pp. 15-18.
10. *Transportna stratehiia Ukrainy na period do 2020 roku* (Transport strategy of Ukraine for the period to 2020). Available at: <http://zakon.rada.gov.ua> (Accessed 15 May 2014).
11. *Tseli, zadachi i struktura transportno-logisticheskikh kompleksov* (Purposes, task and structure of transport-logistic complexes). Available at: <http://www.bizeducation.ru/library/log/trans/3/complex.htm> (Accessed 15 May 2014).
12. Giua A., Seatzu C. Modeling and supervisory control of railway networks using Petri nets. *IEEE Trans. on Automation Science and Engineering*, 2008, vol. 5, no. 3, pp. 431-445. doi: 10.1109/TASE.2008.916925.
13. Parunakjan V., Aksenov M., Sizova E. Modelling of transport-and-handling sites operation with metallurgical enterprises. *Transport problems*, 2013, vol. 8, issue 3, pp. 121-129.

Prof. D. M. Kozachenko, D. Sc. (Tech.); Prof. Ye. S. Aloshynskiy, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published

Received: May 30, 2014

Accepted: Jul. 15, 2014

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.45.042.5:620.92

В. А. ГАБРИНЕЦ^{1*}, И. В. ТИТАРЕНКО^{2*}

^{1*}Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, эл. почта gabrin62@mail.ru, ORCID 0000-0002-6115-7162

^{2*}Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, эл. почта titarenko.igor@gmail.com, ORCID 0000-0002-5692-0135

КОНЦЕПЦИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПО ЭНЕРГОЗАТРАТАМ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Цель. В работе необходимо рассмотреть концепцию создания оптимального по энергозатратам пассажирского вагона с использованием нетрадиционных источников энергии и со стенками, имеющими повышенные теплоизоляционные свойства. **Методика.** Анализируются виды тепловых потерь, а также их величина. Для обогрева рассматриваются альтернативные источники энергии. Анализируется их возможный вклад в общий энергобаланс пассажирского вагона. Количественно оцениваются влияние на конструкцию вагона повышенной теплоизоляции стенок, поступления солнечной энергии через прозрачные окна и энерговыделения самих пассажиров. **Результаты.** При максимально возможном использовании всех нетрадиционных источников энергии и рациональных схемных решений систем кондиционирования и обогрева затраты энергии на эти нужды для пассажирского вагона могут быть снижены на 40–50 %. **Научная новизна.** Впервые предложено использовать новые виды энергии для поддержания теплового баланса вагона в зимний период, а также предложены новые схемные решения для системы климатизации вагона как в зимний, так и в летний периоды. **Практическая значимость.** Введение предложенных схемных решений и подходов к обеспечению комфортных условий для пассажиров могут быть реализованы на уже существующем парке пассажирских вагонов и не требуют существенного переоборудования уже установленных систем.

Ключевые слова: пассажирский вагон; климатизация; тепловой режим; солнечная энергия; теплообменник

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам экономии топливно-энергетических ресурсов на транспорте. Это в первую очередь связано с глобальным энергетическим кризисом, вызванным постепенным истощением традиционных энергоресурсов и в связи с быстрорастущими ценами на традиционные источники энергии: газ, нефть, уголь. С другой стороны, важной проблемой является обеспечение

комфортных условий перевозки пассажиров на железнодорожном транспорте [3, 7, 8]. Это требует затрат энергии на обогрев вагона в холодный период года и его кондиционирование в летний период. К этим затратам добавляются затраты энергии на вентиляцию вагонов [4, 5, 9]. Это в свою очередь требует оценки энергоэффективности систем климатизации [1, 2, 6, 11].

Цель

В работе предлагаются подходы к созданию оптимального по энергозатратам пассажирского вагона с использованием всех возможных в пассажирском вагоне источников энергии совместно с мероприятиями по их энергоэффективному использованию. С этой целью рассмотрены дополнительные источники энергии, которые включают: солнечную энергию; энергию, выделяемую пассажирами; энергию торможения [10, 12–14], вторичную энергию при вентиляции. Наряду с этими мероприятиями предлагается повышение качества теплоизоляции пассажирского вагона.

Методика

В этой работе анализируются виды тепловых потерь, а также их величина. Для обогрева рассматриваются альтернативные источники энергии. Анализируется их возможный вклад в общий энергобаланс пассажирского вагона. Оценивается количественно влияние на конструкцию вагона повышенной теплоизоляции стенок, поступления солнечной энергии через прозрачные окна и энерговыделения самих пассажиров.

Результаты

Известно, что при идеальной теплоизоляции мы будем иметь «адиабатическое помещение», в котором потери тепла будут приближаться к нулю. Естественно, затраты на обогрев будут также минимальными. Однако такой вагон для своего создания потребует значительной теплоизоляции, что резко увеличит стоимость такого вагона.

Сохранение тепла в вагоне в зимнее время года зависит от состояния термоизоляции, качества ее укладки (объективные причины) и соблюдения режима отопления проводником вагона (субъективные причины). Для термоизоляции в ограждающих конструкциях кузовов вагонов, т. е. в крыше, стенах и полу, между наружной и внутренней обшивками, помещается слой теплоизоляционного материала, отличающегося пористым строением и, следовательно, малой плотностью (20...35 кг/м³), и низким коэффициентом теплопроводности (0,03...0,04) Вт/м·К.

Величину тепловых потерь пассажирского вагона $Q_{\text{пот}}$ можно рассчитать, используя известное выражение:

$$Q_{\text{пот}} = \frac{F \Delta t}{\frac{1}{\alpha_g} + \frac{1}{\alpha_c} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \quad (1)$$

где F – площадь внешней поверхности вагона, м²; Δt – разность температур между наружным воздухом и воздухом внутри вагона, °С; α_g , α_c – коэффициенты теплоотдачи между воздухом и внутренней и внешней поверхностями вагона соответственно, Вт/м²·К; δ_i , λ_i – толщины и коэффициенты теплопроводности i -го слоя обшивки вагона, м и Вт/м·К.

Величина тепловых потерь пассажирского вагона при внутренней температуре 18 °С в зависимости от температуры внешней среды для различных значений теплоизоляции представлена на графике рис. 1.

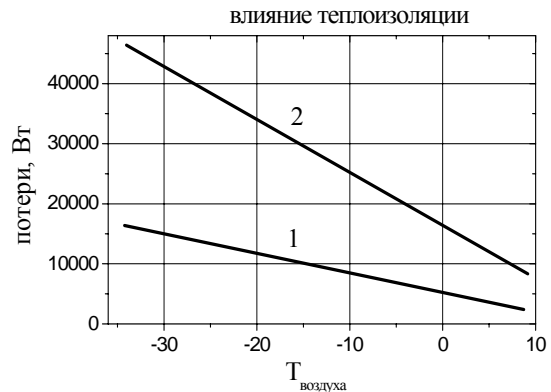


Рис. 1. Величина тепловых потерь стандартного пассажирского вагона в зависимости от температуры внешнего воздуха (1 – 1 Вт/м·К; 2 – 0,2 Вт/м·К)

Fig. 1. Quantity of thermal losses in the standard passenger car depending on the temperature of outside air (1 – 1 W/m·K; 2 – 0.2 W/m·K)

При этом средняя эффективная теплопроводность стенок вагона составляла 1 Вт/м·К град, коэффициенты теплоотдачи внутри и снаружи вагона принимались 5 Вт/м²·К и 50 Вт/м²·К соответственно. Размеры вагона 23 950×3 058×(4 355–1 070) мм. Если снизить теплопроводность стенок вагона до значения 0,2 Вт/м·К, то величина тепловых потерь уменьшится приблизительно в 3 раза для соот-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ветствующих условий. Таким образом, наиболее эффективным мероприятием по снижению тепловых потерь является улучшение теплоизоляционных свойств стенок вагона.

В идеальном, «адиабатическом» вагоне основными тепловыми потерями будут потери на вентиляцию. Если принять количество воздуха на вентиляцию в соответствии с нормами СНиП (100 м³/час и 60 м³/час на человека), то для вагона с 36 пассажирами и двумя проводниками при изменении температуры наружного воздуха в пределах (+ 15°С...– 30 °С) потребуются тепловая мощность в пределах 40 000...70 000 Вт. Тепловая мощность, затрачиваемая на вентиляцию, рассчитывалась по соотношению:

$$Q_{\text{вен}} = [V \rho c_p (t_{\text{окр}} - 18) n] / 3600 \quad (2)$$

где $Q_{\text{вен}}$ – мощность на вентиляцию, Вт; V – норма расхода воздуха на одного человека, м³/час; ρ – плотность воздуха при нормальных условиях, м³/кг; c_p – теплоемкость воздуха, Дж/кг·К; $t_{\text{окр}}$ – температура окружающего воздуха, °С; n – количество пассажиров в вагоне, чел.

Изменение величины тепловой мощности на вентиляции в зависимости от температуры наружного воздуха представлено на рис. 2.

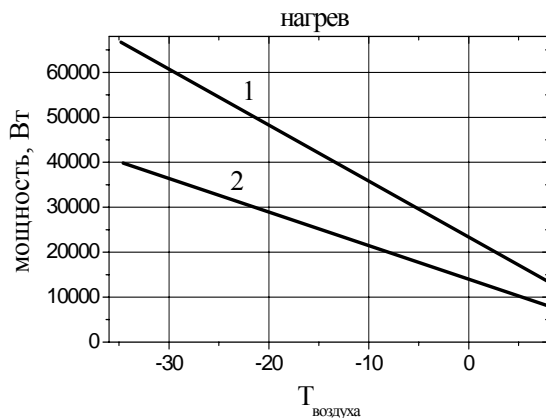


Рис. 2. Изменение величины тепловой мощности, затрачиваемой на вентиляцию в зависимости от температуры наружного воздуха для двух значений норм расхода 100 м³/час и 60 м³/час на человека

Fig. 2. Change of the thermal power value that is spent for ventilation depending on the outside air temperature for two values of the consumption rates 100 м³/hour and 60 м³/hour for person

Наружный воздух, подаваемый на вентиляцию, нагревается до температуры 18 °С. Такие значительные мощности, затрачиваемые на нагрев вентиляционного воздуха, могут быть значительно снижены при установке рекуперативного теплообменника, в котором уходящий из вагона воздух обменивается теплом с подаваемым снаружи воздухом. Для реализации этого схемного решения необходимо установить эффективный пластинчато-ребристый теплообменник по тракту подачи-отвода вентилируемого воздуха. Этот теплообменник будет использовать «вторичные» энергоресурсы пассажирского вагона. Так как в таком теплообменнике будет иметь место равенство водяных эквивалентов «горячего» и «холодного» теплоносителей, то эффективность такого теплообменника будет составлять приблизительно 70 %. То есть затраты энергии на вентиляцию могут быть уменьшены на эту величину.

Следующим фактором, который должен быть учтен при рассмотрении теплового баланса пассажирского вагона, является энерго- и влаговыделение самих пассажиров $Q_{\text{пас}}$. Влага выделяется в результате испарения со свободной поверхности воды и влажных поверхностей материалов и кожи, в результате дыхания людей. Количество влаги, выделяемое людьми w (см. табл. 1), г/ч, определяется по формуле:

$$W = n w, \quad (3)$$

где n – число пассажиров в вагоне, чел.; w – количество влаги, выделяемое одним человеком, г/ч.

Количество энергии, выделяемое человеком в спокойном состоянии пассажира при 18 °С, будет составлять приблизительно $q = 100$ Вт. Общее количество тепла, выделяемое пассажирами в вагоне, можно рассчитать по соотношению:

$$Q_{\text{пас}} = n q. \quad (4)$$

36 пассажиров будут выделять 3 600 Вт тепловой мощности. Дополнительным источником энергии является теплота конденсации водяных паров, выдыхаемых человеком. Количество водяных паров выделяемых человеком составляет 100 грамм в час. Количество тепла, получаемое при конденсации паров, выделяемых пассажирами, можно рассчитать по соотношению:

Количество тепла и влаги, выделяемое человеком

Table 1

Heat and moisture quantity secreted by a man

Характер выполняемой работы	Тепло, Вт				Влага, г/ч	
	полное		явное		при 10 °С	при 35 °С
	при 10 °С	при 35 °С	при 10 °С	при 35 °С		
Умственная	160	93	140	16	30	115
Физическая						
Легкая	180	145	150	8	40	200
Средняя	215	195	165	8	70	280

$$Q_{\text{кон}} = (w r) / 3\,600, \quad (5)$$

где r – удельная теплота конденсации водяного пара, равная 2 258 кДж/кг.

Конденсация этих паров позволяет в секунду получить незначительное количество тепла. Однако выделяемая в процессе конденсации влага должна учитываться при проектировании рекуперативного теплообменника из-за ее возможного замерзания в зимних условиях.

Следующим фактором, который должен приниматься во внимание при рассмотрении теплового баланса пассажирского вагона, является солнечная радиация. Количество солнечной радиации, поступающей извне через стеклянные окна вагона, зависит от времени суток, сезона, облачности. Интенсивность солнечной радиации на границе земной атмосферы является постоянной величиной (солнечная постоянная) и составляет 1,35 кВт/м². Видимый свет занимает узкий интервал длин волн, всего от 0,40 до 0,75 мкм. Однако в этом интервале заключается почти половина всей солнечной лучистой энергии (46 %). Почти столько же (47 %) приходится на инфракрасные лучи, а остальные 7 % – на ультрафиолетовые. Интенсивность солнечной радиации на поверхности Земли зависит от длины пути через атмосферу и определяется географическим положением точки измерения, а также ее высотой над уровнем моря. Эти зависимости представлены на рис. 3 <http://www.geleo.boom.ru/pict01> в виде графиков, построенных по данным [8]. При этом существенное значение имеет состояние атмосферы (облачность, запыленность).

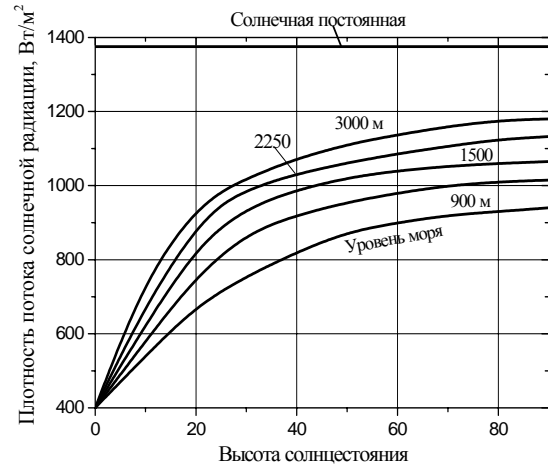


Рис. 3. Графики зависимости плотности потока прямой солнечной радиации от высоты и угла падения

Fig. 3. Dependency diagrams of the current density of direct solar radiation on the height and incidence angle

Солнечная радиация поступает во внутренний объем пассажирского вагона в виде трех составляющих: прямого излучения, рассеянного и отраженного от поверхности Земли

$$Q_{\text{сол}} = Q_{\text{пр}} + Q_{\text{рас}} + Q_{\text{от}}. \quad (6)$$

Предполагая равномерное убывание солнечной радиации во времени, мы можем оценить среднесуточное поступление радиации во внутренний объем вагона. Величина прямой солнечной радиации может быть рассчитана по соотношению:

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$Q_{\text{пр}} = I_0 (\tau) F \cos \alpha, \quad (7)$$

где I_0 – интенсивность радиации; F – площадь окон вагона (21,4 м²), $\cos \alpha$ – косинус угла падения прямого и отраженного солнечного излучения.

Для рассеянного излучения $Q_{\text{рас}}$ этот угол не имеет значения. Величина его рассчитывается по соотношению (6) только без значения косинуса. В отопительный сезон в октябре, ноябре, марте, апреле средняя интенсивность солнечной радиации, состоящей из прямого солнечного и диффузного излучения, составляет приблизительно 350...450 Вт/м². Предварительные расчеты показывают, что величина солнечной радиации в зависимости от освещаемой площади окон, времени года и угла падения может составлять 6 000...8 000 Вт. Для более полного использования потенциала солнечной радиации требуется соответствующая оптимизация спектральных характеристик стекол окон. Оптимизация предполагает увеличение коэффициента пропускания коротковолнового солнечного излучения и соответствующее уменьшение коэффициента пропускания длинноволнового излучения. Длинноволновое излучение характерно для собственного излучения нагретых поверхностей внутреннего объема вагона. В соответствии с документами температура поверхностей, ограждающих внутренние помещения (за исключением окон), должна быть не ниже 15 °С. Эти поверхности совместно с объемом воздуха, нагретого до температуры не ниже 18 °С, создают длинноволновое излучение, максимум энергии которого приходится на длины волн 10 000...15 000 нм. Именно излучение с такой длиной волны должно блокироваться, спектральными свойствами окон вагона для создания тепличного эффекта.

Научная новизна и практическая значимость

Таким образом, суммарный тепловой баланс пассажирского вагона может быть описан уравнением:

$$Q_{\text{пот}} + Q_{\text{вен}} = Q_{\text{наг}} + Q_{\text{пас}} + Q_{\text{сол}}. \quad (8)$$

Соотношение (8) позволяет рассчитать затраты энергии на обогрев и вентиляцию пассажирского вагона с учетом действия только двух

энерговлияющих факторов: тепла пассажиров и энергии солнечного излучения. Влияние схемного решения проявится через уменьшения затрат энергии на вентиляцию. Впервые предложено использовать нетрадиционные источники энергии для поддержания требуемого температурного режима пассажирского вагона. Впервые предлагаются новые схемные решения как для организации вентиляции и кондиционирования, так и для обеспечения теплового режима вагона.

Выводы

Существующие в настоящее время на «Укрзалізнице» удельные затраты энергии на поддержание теплового режима пассажирского вагона зимой и кондиционирование его летом, являются существенно завышенными в свете требований сегодняшнего дня. Это ведет к существенному расходу топливно-энергетических ресурсов для парка пассажирских вагонов Украины в количестве 8 800 вагонов. Использование предлагаемых в работе мероприятий и схемных решений позволит снизить от 60 до 70 процентов эти затраты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бартош, Е. Т. Тепловые насосы в энергетике железнодорожного транспорта / Е. Т. Бартош. – М. : Транспорт, 1985. – 280 с.
2. Битюцкий, А. А. Анализ эффективности систем раздельного торможения для грузовых вагонов в России / А. А. Битюцкий, Д. Е. Клушанцев. – Наука и техн. трансп. – 2011. – № 2. – С. 8–15.
3. Буравой, С. Е. Тепловой режим пассажирского вагона на различных этапах эксплуатации / С. Е. Буравой, Е. С. Платунов, В. В. Царь // Системы вентиляции, кондиционирования и отопления в пассаж. вагонах : сб. докл. науч. практ. семинара. – СПб. : СПбГУНиПТ, 2001. – С. 58–71.
4. Габринцев, В. А. Использование гидравлического тормоза в качестве источника тепловой энергии / В. А. Габринцев // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 48–54.
5. Габрінець, В. О. Шляхи підвищення ефективності енергетичних підрозділів залізничного транспорту / В. О. Габрінець, Є. В. Христьян, І. В. Титаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 187–190.
6. Емельянов, А. Л. Системы индивидуального регулирования температуры воздуха в купе пассажирского вагона [Электронный ресурс] / А. Л. Емельянов, С. Е. Буравой, Е. С. Платунов // Холодил. техника и кондиционирование. – 2007. – № 1. – Режим доступа: www.refrigeration.openmechanics.com. – Загл. с экрана.
 7. Жариков, В. А. Климатические системы пассажирских вагонов / В. А. Жариков. – М. : ТРАНСИНФО, 2006. – 135 с.
 8. Китаев, Б. Н. Теплообменные процессы при эксплуатации вагонов / Б. Н. Китаев. – М. : Транспорт, 1984. – 184 с.
 9. Матяш, Ю. И. Системы кондиционирования и водоснабжения пассажирских вагонов / Ю. И. Матяш, В. П. Ключа. – М. : ГОУ «Учебно-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2008. – 286 с.
 10. Пигарев, В. Е. Холодильные машины и установки кондиционирования воздуха / В. Е. Пигарев, П. Е. Архипов. – М. : Маршрут, 2003. – 424 с.
 11. Скорик, Т. А. Оценочные критерии энергоэффективности систем акклиматизации / Т. А. Скорик, Е. К. Глазунова, Н. П. Воронцова // Трансп. – 2011 : тр. Всеросс. научно-практ. конф. – Ростов н/Д., 2011. – С. 336–338.
 12. Фаерштейн, Ю. О. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах / Ю. О. Фаерштейн, Б. Н. Китаев. – М. : Транспорт, 1984. – 272 с.
 13. Application in rail vehicles braking energy / Yany Jian, Li Fa Iany, Sony Rui-yany, Fany Yu. Tiedao Xuebao // J. China. Railway Soc. – 2011. – № 33 (2). – P. 26–33.
 14. Cordini, P. Performance characteristics of high-speed rail trains Pendolino. Das Projekt New Pendolino / Pino Cordini // ZEVrail Glas. Ann. – 2012. 136. – № 4. – P. 116–120.

В. О. ГАБРИНЕЦЬ^{1*}, І. В. ТИТАРЕНКО^{2*}

^{1*}Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, ел. пошта gabrin62@mail.ru, ORCID 0000-0002-6115-7162

^{2*}Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, ел. пошта titarenko.igor@gmail.com, ORCID 0000-0002-5692-0135

КОНЦЕПЦІЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗА ЕНЕРГОВИТРАТАМИ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА З ВИКОРИСТАННЯМ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Мета. У роботі необхідно розглянути концепцію створення оптимального за енерговитратами пасажирського вагона з використанням нетрадиційних джерел енергії та зі стінками, що мають підвищені теплоізоляційні властивості. **Методика.** Аналізуються види теплових втрат, а також їх розмір. Для обігріву розглядаються альтернативні джерела енергії, аналізується їх можливий внесок у загальний енергобаланс пасажирського вагона. Кількісно оцінюються вплив на конструкцію вагона підвищеної теплоізоляції стінок, надходження сонячної енергії через прозорі вікна та енерговиділення самих пасажирів. **Результати.** При максимально можливому використанні нетрадиційних джерел енергії та раціональних схемних рішень систем кондиціонування й обігріву витрати енергії на ці потреби для пасажирського вагона можуть бути знижені на 40-50%. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано використання нових видів енергії для підтримки теплового балансу вагона в зимовий період, а також запропоновано нові схемні рішення для системи кліматизації вагона як в зимовий, так і в літній період. **Практична значимість.** Введення запропонованих схемних рішень і підходів до забезпечення комфортних умов для пасажирів можуть бути реалізовані на існуючому парку пасажирських вагонів і не вимагають істотного переобладнання вже встановлених систем.

Ключові слова: пасажирський вагон; кліматизація; тепловий режим; сонячна енергія; теплообмінник

V. A. GABRINETS^{1*}, I. V. TYTARENKO^{2*}

^{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, e-mail gabrin62@mail.ru, ORCID 0000-0002-6115-7162

^{2*}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, e-mail titarenko.igor@gmail.com, ORCID 0000-0002-5692-0135

CONCEPT OF THE MINIMUM ENERGY PASSENGER CAR WITH USE OF UNCONVENTIONAL ENERGY SOURCES

Purpose. The paper is aimed to consider the concept of creation of the minimum energy passenger car with use of nonconventional energy sources and the walls that have enhanced thermal insulation properties. **Methodology.** The types of heat losses, as well as their value were analyzed. The alternative sources of energy are considered for heating. Their potential contribution to the overall energy balance of the passenger car is analyzed. Impact on the car design of the enhanced wall thermal insulation, solar energy inflow through the transparent windows and energy release of passengers are quantitatively evaluated. **Findings.** With the maximum possible use of all unconventional energy sources and the rational scheme solutions of conditioning and heating systems energy the costs for these needs for a passenger car can be reduced by 40-50%. **Originality.** New types of energy to maintain the heat balance of the car in the winter period is proposed to use firstly. New schematics solutions for environmental control system of the car both in winter and in summer periods were offered. **Practical value.** Introduction of the proposed scheme solutions and approaches to ensure the comfortable conditions for passengers may be implemented on an existing park of passenger cars and do not require a major re-equipment of systems that have already been installed.

Keywords: passenger car; climatization; thermal regime; solar energy; heat exchanger

REFERENCES

1. Bartosh Ye.T. *Teplovyye nasosy v energetike zheleznodorozhnogo transporta* [Heat pumps in the energy sector of railway transport]. Moscow, Transport Publ., 1985. 280 p.
2. Batyutskiy A.A., Klushantsev D.Ye. Analiz effektivnosti sistem razdelnogo tormozheniya dlya gruzovykh vagonov v Rossii [Effectiveness analysis of separate braking systems for freight cars in Russia]. *Nauka i tekhnika transporta – Science and Transport Technology*, 2011, no. 2, pp. 8-15.
3. Buravoy S.Ye., Platonov Ye.S., Tsar V.V. Teplovoy rezhim passazhirskogo vagona na razlichnykh etapakh ekspluatatsii [Thermal regime of a passenger car in various stages of operation]. *Sbornik dokladov nauchno-prakticheskogo seminaru «Sistemy ventilyatsii, konditsionirovaniya i otopleniya v passazhirskikh vagonakh»* [Proc. of Theoretical and Practical Workshop «Ventilation, air conditioning and heating systems in the passenger cars»]. Saint Petersburg, 2001, pp. 58-71.
4. Gabrinets V.A. Ispolzovaniye gidravlicheskogo tormoza v kachestve istochnika teplovoy energii [A hydraulic brake as a thermal energy source]. *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. 48-54.
5. Habrinets V.O., Khrystian Ye.V., Tytarenko I.V. Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti enerhetychnykh pidrozdiliv zaliznychnoho transportu [Ways to improve the efficiency of power units of 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], 2012, issue 41, pp. 187-190.
6. Yemelyanov A.L., Buravoy S.Ye., Platonov Ye.S. Sistemy individualnogo regulirovaniya temperatury vozdukh v kupe passazhirskogo vagona (Systems of individual air temperature control in the compartment of a passenger car). *Kholodilnaya tekhnika i konditsionirovaniye – Refrigerating Engineering and Conditioning*, 2007, no. 1. Available at: www.refrigeration.openmechanics.com (Accessed 16 April 2014).
7. Zharikov V.A. *Klimaticheskiye sistemy passazhirskikh vagonov* [Climate systems of the passenger cars]. Moscow, TRANSINFO Publ., 2006. 135 p.
8. Kitayev B.N. *Teploobmennyye protsessy pri ekspluatatsii vagonov* [Heat exchange processes in the operation of cars]. Moscow, Transport Publ., 1984. 184 p.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

9. Matyash Yu.I., Klyuka V. P. *Sistemy konditsionirovaniya i vodosnabzheniya passazhirskikh vagonov* [Air conditioning and water supply of the passenger cars]. Moscow, GOU «Uchebno-metod. tsentr po obrazovaniyu na zh.-d transporte» Publ., 2008. 286 p.
10. Pigarev V.Ye., Arkhipov P.Ye. *Kholodilnyye mashiny i ustanovki konditsionirovaniya vozdukha* [Mechanical refrigerating machines and air hadling units]. Moscow, Marshrut Publ., 2003. 424 p.
11. Skorik T.A., Glazunova Ye.K., Vorontsova N.P. Otsenochnyye kriterii energoeffektivnosti sistem akklimatizatsii [Evaluation criteria of energy efficiency systems of acclimatization]. *Trudy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Transport -2011»* [Proc. of the All-Russian Theoretical and Practical Conf. «Transport -2011»]. Rostov on Don, 2011, pp. 336-338.
12. Faershteyn Yu.O., Kitayev B. N. *Konditsionirovaniye vozdukha v passazhirskikh vagonakh* [Air conditioning in the passenger cars]. Moscow, Transport Publ., 1984. 272 p.
13. Yany Jian, Li Fa Iany, Sony Rui-yany, Fany Yu. Tiedao Xuebao Application in rail vehicles braking energy. *J. China. Railway Soc.*, 2011, no. 33 (2), pp. 26-33.
14. Cordini Pino. Performance characteristics of high-speed rail trains Pendolino. *Das Projekt New Pendolino. ZEVrail Glas. Ann.*, 2012. 136, no. 4, pp. 116-120.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. М. В. Губинским (Украина); д.т.н., проф. Н. Н. Беляевым (Украина)

Поступила в редколлегию: 21.03.2014

Принята к печати: 09.06.2014

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.423.2.083

О. С. КРАШЕНІНІН^{1*}, В. А. ГОГАЄВ¹^{1*}Каф. «Експлуатація та ремонт рухомого складу», Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, майдан Фейєрбаха, 7, Україна, 61050, тел. + 38 (057) 730 19 99, ел. пошта info@kart.edu.ua¹Каф. «Експлуатація та ремонт рухомого складу», Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, майдан Фейєрбаха, 7, Україна, 61050, тел. + 38 (057) 730 19 99, ел. пошта info@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-8327-3164

НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Мета. Ефективність функціонування парку моторвагонного рухомого складу (МВРС) як складної системи значною мірою залежить від режимів та умов його експлуатації, які визначаються як їх власним станом, так і станом системи утримання. Тому метою є вирішення науково-технічної проблеми системи утримання, технічного обслуговування й ремонту моторвагонного рухомого складу (РС). **Методика.** Стаття присвячена питанню технічного обслуговування (ТО) і ремонту (Р) моторвагонного рухомого складу (МВРС) України. На основі теоретичного дослідження проаналізовано ситуацію щодо технічного обслуговування та ремонту МВРС. Наведено порівняльний аналіз щодо залізничного, автомобільного та авіаційного транспорту. На основі аналізу й порівняння авторами запропоновано перехід від планово-попереджувальної системи обслуговування залізничного транспорту до обслуговування за фактичним станом. **Результати.** Згідно з наведеним теоретичним порівнянням поставленої проблематики в різних видах транспорту можна констатувати, що досвід та особливості експлуатації РС у суміжних галузях є підставою для перегляду й удосконалення системи утримання РС, у тому числі на різних стадіях його експлуатації. **Наукова новизна.** Дана стаття наводить порівняльний теоретичний аналіз систем утримання та ремонту залізничного, автомобільного та авіаційного транспорту. **Практична значимість.** Впровадження нової стратегії щодо ТО й Р рухомого складу дозволить здійснити поступовий перехід від існуючої планово-попереджувальної системи ТО й Р до системи ремонту «за фактичним станом». При цьому можливе максимальне скорочення кількості раптових відмов під час експлуатації шляхом забезпечення високого коефіцієнту експлуатаційної готовності РС (до 0,95). А наведений порівняльний аналіз системи обслуговування й ремонту є підґрунтям доцільності переходу.

Ключові слова: технічне обслуговування; поточний ремонт; моторвагонний рухомий склад; порівняння технології обслуговування та ремонту

Вступ

В приміському сполученні моторвагонним рухомих складом (МВРС) України щорічно перевозиться значна кількість населення країни. Основною перевагою приміських залізничних перевезень, у першу чергу, є швидкість та безпека пересування. У деяких регіонах через недостатньо розвинену мережу автомобільних шляхів приміське залізничне сполучення за допомогою МВРС є найбільш прийнятним для пасажирів.

Ефективність функціонування парку МВРС як складної системи значно залежить від режимів та умов його експлуатації, які визначаються як їх власним станом, так і станом системи утримання.

Тому серед питань, які необхідно вирішувати найближчим часом, є зниження витрат на технічне обслуговування і ремонт завдяки поліпшення показників надійності і ремонтпри-

датності, зменшення трудомісткості і тривалості простою на планових видах ремонту, застосування інтелектуальних систем діагностування.

Для підвищення надійності МВРС є перехід від планово-попереджувальної системи обслуговування і ремонту до обслуговування і ремонту «за фактичним станом». Використання цього підходу обслуговування і ремонту МВРС вимагає більшого застосування засобів і методів автоматизованого контролю і діагностування, що дозволить суттєво удосконалити систему утримання та мінімізувати витрати на здійснення технічного обслуговування та поточних ремонтів [2].

Мета

Вирішення науково-технічної проблеми системи утримання, технічного обслуговування і ремонту моторвагонного рухомого складу.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Методика

Останнім часом із-за недостатнього фінансування приміського комплексу виникають суттєві труднощі. Головним чином це стосується темпів оновлення парку МВРС, системи підтримання наявного парку МВРС та інфраструктури (рис. 1, 2).

Це призвело до того, що в господарстві приміських перевезень склалась незадовільна ситуація щодо технічного стану МВРС.

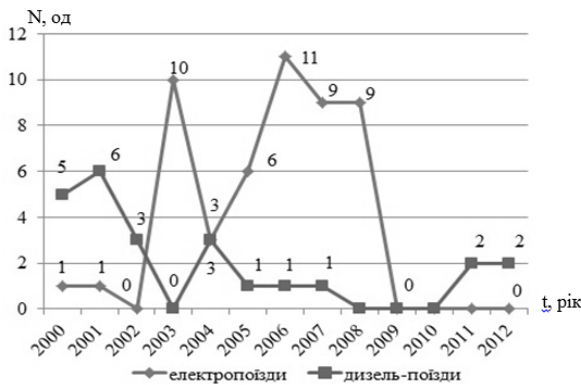


Рис. 1. Динаміка оновлення МВРС на залізницях України

Fig. 1. Dynamics of multiple unit update on the railways of Ukraine

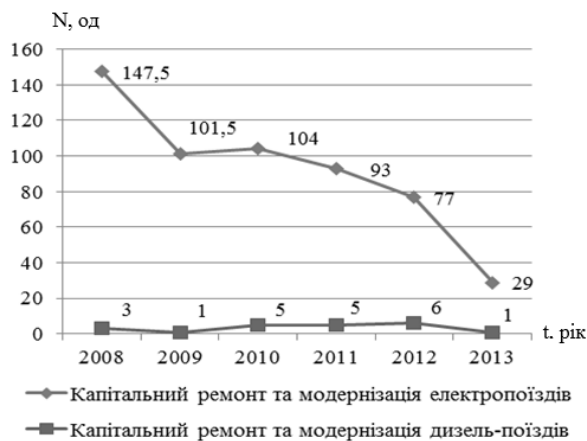


Рис. 2. Динаміка виконання капітальних ремонтів

Fig. 2. Dynamics of capital repairs implementation

У зв'язку з цим залишається актуальним завдання змінити підходи щодо систем технічного обслуговування та ремонту ТРС для максимального підвищення ефективності використання наявного парку, покращення використання матеріа-

лів та робочої сили з метою мінімізувати час простою та кількість несправностей ТРС [2, 5].

Виходячи з цього, доцільно проаналізувати підходи щодо організації технічного обслуговування та ремонту ТРС для інших видів транспорту в Україні та залізничного транспорту за кордоном.

Робота автомобільного транспорту регламентується наказом № 102 від 30.06.2010 [6], згідно з яким технічне обслуговування дорожніх транспортних засобів (ДТЗ) виконується у планово-обов'язковому порядку, а поточний ремонт – за потреби, згідно з результатами діагностування технічного стану ДТЗ або за наявності несправностей для забезпечення або відновлення його працездатності.

Капітальний ремонт виконується за потреби згідно з результатами діагностики технічного стану і призначений для продовження терміну експлуатації ДТЗ.

Цей наказ визначає види і режими (періодичність, перелік виконуваних робіт та їх трудомісткість) технічного обслуговування і ремонту з урахуванням умов експлуатації ДТЗ.

Загалом система технічного обслуговування і ремонту ДТЗ передбачає:

- щоденне обслуговування;
- перше технічне обслуговування (ТО-1);
- друге технічне обслуговування (ТО-2);
- сезонне технічне обслуговування;
- поточний ремонт;
- капітальний ремонт;
- технічне обслуговування під час консервації ДТЗ;
- технічне обслуговування та ремонт ДТЗ на лінії [11].

В авіаційній галузі організація технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) здійснюється на основі двох принципів: плановості та своєчасного попередження відмов.

Під принципом плановості розуміється дотримання встановленої періодичності постановки літальних апаратів (ЛА) на ту чи іншу форму технічного обслуговування або ремонту. При цьому плануються обсяги частини стандартних регламентних операцій та операцій з технічного діагностування та дефектації об'єктів авіаційної техніки (АТ).

Попереджувальний характер ТО і Р забезпечується за рахунок організації постійного спостереження під час експлуатації за додержан-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ням надійності, а в деяких випадках і за технічним станом функціональних систем та окремого обладнання з метою своєчасного виявлення передвідмовного стану з подальшою заміною обладнання або регулюванням його параметрів.

Для ЛА цивільної авіації встановлено такі види технічного обслуговування: оперативне, періодичне, сезонне, спеціальне зберігання. Основними з перерахованих видів є оперативне і періодичне. Кожен з видів технічного обслуговування відрізняється обсягом і складністю робіт, потрібним часом і періодичністю їх виконання.

Періодичне технічне обслуговування виконується через суворо встановлені інтервали, вимірювані кількістю годин нальоту ЛА, кількістю посадок або календарним часом.

Для більшості основних типів ЛА прийнята періодичність виконання форм технічного обслуговування: форма 1 (Ф-1) – через кожні (300 ± 30) год нальоту, форма 2 (Ф-2) – через кожні (900 ± 30) год нальоту і форма 3 (Ф-3) – через кожні (1 800 ± 30) год нальоту.

Якщо ЛА за умовами експлуатації має порівняно малий наліт, то його періодичне обслуговування виконують за календарними термінами.

Ремонтні обслуговування (форми) на відміну від форм періодичного технічного обслуговування відрізняються значно більшими інтервалами часу і трудомісткістю робіт. Їх основне призначення і особливість полягає у тому, щоб оцінити технічний стан вузлів і конструкції у важкодоступних зонах, виявити і усунути відмови і ушкодження на ранніх стадіях їх розвитку, відновити пошкоджені ділянки конструкції ЛА. Протягом призначеного ресурсу на ЛА послідовно виконують кілька ремонтних форм: Р-1, Р-2, Р-3, Р-4 та інші, що ускладнюються в міру збільшення загального нальоту ЛА і кількості посадок.

Зміст робіт з технічного обслуговування обладнання АТ і періодичність їх виконання визначається стратегією технічного обслуговування і ремонту.

Відповідно до діючих стандартів розрізняють такі стратегії технічного обслуговування і ремонту:

- технічне обслуговування з напрацювання, при якому перелік і періодичність виконання операцій визначається значенням напрацювання обладнання з початку експлуатації або після ремонту (середнього, капітального);

- технічне обслуговування за станом, при якому перелік і періодичність виконання операцій ви-

значається фактичним технічним станом обладнання в момент початку технічного обслуговування;

- ремонт з напрацювання, при якому глибина ремонту обладнання і контролю призначається єдиною для парку однотипного обладнання залежно від напрацювання з початку експлуатації та (або) після капітального (середнього) ремонту, а перелік операцій з відновлення визначається з урахуванням результатів контролю обладнання;

- ремонт за технічним станом, при якому перелік операцій, у тому числі розбирання, визначається за результатами діагностування обладнання в момент початку ремонту, а також заданими про надійність цього обладнання і однотипного обладнання.

Питання про те, яку стратегію ТО і Р вибрати залежить: по-перше, від можливостей визначення в процесі експлуатації граничного стану обладнання, при якому воно ще працездатне; по-друге, від прийнятого критерію встановлення термінів заміни обладнання на ЛА.

Критерій встановлення термінів заміни визначається станом обладнання, при якому його подальша експлуатація на ЛА призведе до зниження безпеки або регулярності польотів.

Кожній стратегії ТО і Р відповідає певна стратегія експлуатації (використання) АТ.

Розрізняють такі стратегії експлуатації: до вироблення ресурсу (терміну служби); до передвідмовного стану; до відмови.

Стратегії ТО і Р за станом істотно відрізняються від стратегій ТО і Р з напрацювання. Відмінність полягає не тільки в характері технологічних процесів ТО і Р, а й у розподілі матеріальних і трудових витрат, потрібних на утримання матеріально-технічної бази, що відповідає вимогам тієї чи іншої стратегії [9, 10].

Для залізничного транспорту, що експлуатується за кордоном, компаніями-операторами укладаються контракти на технічне обслуговування. Раніше це були контракти на виконання певних робіт, зараз це контракти, пов'язані з забезпеченням заданих параметрів і об'ємом послуг. Контракти типу MRO (maintenance, repair, overhaul – технічне обслуговування, ремонт, капітальний ремонт/модернізація) традиційно планувались на основі періодичного обслуговування та ремонту різного об'єму. Однак, як показує досвід, в середньому до 40 % часу витрачається на усунення несправностей, а не на планове обслуговування [8].

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Оскільки електронному обладнанню сучасного ТРС необхідно приділяти все більше уваги, регулярно виконувати операції щодо його технічного обслуговування, вже немає необхідності оптимізувати систему використання ТРС. Нові серії локомотивів потребують здійснення технічного обслуговування за фактичним станом, що дозволяє оптимізувати готовність ТРС та скоротити час, впродовж якого він виводиться з експлуатації на обслуговування [4, 13].

Перевагу віддають вже не плановому технічному обслуговуванню, а практиці відстеження функціонування ТРС в експлуатації за надходженням сигналів, коли окреме обладнання чи система ТРС проявляють певні ознаки зносу чи наближення до відмови [1, 3, 12].

В табл. 1 наведені окремі узагальненні особливості організації ТО, ПР для різних видів транспорту.

Таблиця 1

Періодичність технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів

Table 1

Periodicity of technical service and repair of transport vehicles

Вид транспорту	Періодичність видів технічного обслуговування і ремонту														
	ЩО	ТО-1	ТО-2	-	-	-	ПР	-	-	КР	-	ТОЛ ³	ТОК ²	СО	
Авто-мобільний	щоденно	5 000	2 0000	-	-	-	за фактичним станом	-	-	за фактичним станом	-	за потребою	за потребою	навесні, восени	
	ЩО	ТО-1	ТО-2	-	-	-	ПР	-	-	КР	-	ТОЛ ³	ТОК ²	СО	
Авіаційний	щоденно	15 діб	12 міс	24 міс	-	-	за фактичним станом	за фактичним станом	за фактичним станом	за фактичним станом	-	за потребою	за потребою	навесні, восени	
		300 год	900 год	1 800 год	-	-	за фактичним станом	за фактичним станом	за фактичним станом	за фактичним станом	-	за потребою	за потребою	навесні, восени	
	Оперативне ТО	1К	2К	3К	-	-	Р-1	Р-2	Р-3	Р-4	-	СТО ¹	ТО при зберіганні	СО	
		Ф-1	Ф-2	Ф-3	-	-	Р-1	Р-2	Р-3	Р-4	-	СТО ¹	ТО при зберіганні	СО	
Залізничний (електропоїзди)	щоденно	ТО-1	ТО-2	ТО-3	ТО-4	ТО-5	ТО-6	ПР-1	ПР-2	ПР-3	КР-1	КР-2	КВР	-	СО
	щоденно	ТО-2	ТО-3	ТО-4	ТО-5	ТО-6	ПР-1	ПР-2	ПР-3	КР-1	КР-2	КВР	-	СО	
	5 діб	ТО-3	ТО-4	ТО-5	ТО-6	ПР-1	ПР-2	ПР-3	КР-1	КР-2	КВР	-	СО		
	Сумісно з ТО, ПР	ТО-4	ТО-5	ТО-6	ПР-1	ПР-2	ПР-3	КР-1	КР-2	КВР	-	СО			
	Після виведення з резерву	ТО-5	ТО-6	ПР-1	ПР-2	ПР-3	КР-1	КР-2	КВР	-	СО				
	за потребою	ТО-6	ПР-1	ПР-2	ПР-3	КР-1	КР-2	КВР	-	СО					
	50 діб	150 тис. км	300 тис. км	4 роки (600 тис. км)	12 років (1 800 тис. км)	25 років	-	навесні, восени							

СТО1 – спеціальне технічне обслуговування;

ТОК2 – технічне обслуговування під час консервації ДТЗ;

ТОЛ3 – технічне обслуговування та ремонт ДТЗ на лінії;

СО4 – сезонне обслуговування

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

В умовах інтенсивного розвитку комп'ютерних технологій, все більшого поширення набуває застосування цифрової фото- і відеотехніки, методів комп'ютерної графіки в багатьох областях технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів, зокрема під час технічної діагностики залізничного рухомого складу [7].

Результати

Згідно з наведеним теоретичним порівнянням порушеної проблематики у різних видах транспорту можна констатувати, що досвід і особливості експлуатації РС в суміжних галузях є підставою для перегляду і удосконалення системи утримання ТРС, в тому числі на різних стадіях його експлуатації.

Наукова новизна та практична значимість

Ця стаття містить порівняльний теоретичний аналіз щодо системи утримання та ремонту між залізничним, автомобільним і авіаційним транспортом. Впровадження нової стратегії щодо ТО і Р рухомого складу дозволять здійснити поступовий перехід від існуючої планово-попереджувальної системи ТО і Р до системи ремонту «за фактичним станом». А наведений порівняльний аналіз системи обслуговування і ремонту є підґрунтям доцільності переходу.

Висновки

1. Подальше удосконалення та підвищення ефективності експлуатації ТРС можливе завдяки впровадженню досягнень науково-технічного прогресу, що дозволить суттєво удосконалити систему утримання та мінімізувати витрати на здійснення технічного обслуговування та поточних ремонтів [4].

2. Згідно з наведеними даними можна констатувати, що досвід і особливості експлуатації РС в суміжних галузях є підставою для перегляду і удосконалення системи утримання РС, в тому числі на різних стадіях його експлуатації.

3. Удосконалення роботи ремонтного господарства є одним з основних резервів зниження витрат на утримання ТРС, що базуються на підвищенні надійності технічних засобів, зниженні кількості відмов і непланових ремонтів рухомого складу за рахунок поліпшення якості

ремонту та підвищення продуктивності праці на основі впровадження автоматизованих систем управління технологією та технічної діагностики.

4. Впровадження нових підходів щодо ТО і Р рухомого складу дозволять здійснити поступовий перехід від існуючої планово-попереджувальної системи ТО і Р до системи ремонту «за фактичним станом». При цьому можливе максимальне зменшення кількості раптових відмов в експлуатації, забезпеченням високого коефіцієнта експлуатаційної готовності рухомого складу (до 0,95).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боднар, Є. Б. Основні вимоги та принципи створення бортових систем діагностування локомотивів / Є. Б. Боднар // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 1 (49). – С. 68–74.
2. Мариненко, І. В. Капітальний ремонт та модернізація моторвагонного рухомого складу. Проблема оновлення парку електро- та дизель-поїздів господарства приміських пасажирських перевезень залізниць України / І. В. Мариненко // Локомотив-інформ. – 2013. – № 11. – С. 43–46.
3. Методи нерозбірного діагностування дизелів при експлуатації рухомого складу / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, О. Я. Децюра, Д. В. Черняєв // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 56–60.
4. Молчанов, В. В. Новые технологии и оборудование контроля и диагностирования железнодорожной техники / В. В. Молчанов, В. Г. Шахов // Изв. Транссиба. – 2010. – № 4. – С. 116–120.
5. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро- та дизель-поїздів) : наказ № 093–ЦЗ. – К. : Укрзалізниця, 2011. – 26 с.
6. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту : від 30.03.1998 р., № 102 : наказ Мін-ва трансп. України / Офіційний вісн. України. – 1998. – № 18 – С. 71.
7. Пулария, А. Л. Применение методов компьютерной графики при технической диагностике подвижного состава железных дорог / А. Л. Пулария, М. Е. Сердюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 61–64.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

8. Техническое обслуживание подвижного состава в странах Европы // Железные дороги мира. – 2009. – № 4. – С. 50–52.
9. Чинючин, Ю. М. Основы технической эксплуатации и ремонта авиационной техники : учеб. пособие. Часть I / Ю. М. Чинючин, И. Ф. Полякова. – М. : МГТУ ГА, 2004. – 81 с.
10. Чинючин, Ю. М. Основы технической эксплуатации и ремонта авиационной техники : учеб. пособие. Часть I / Ю. М. Чинючин, И. Ф. Полякова. – М. : МГТУ ГА, 2006. – 73 с.
11. Яговкин, А. И. Организация производства технического обслуживания и ремонта машин : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А. И. Яговкин. – М. : Изд. центр «Академия», 2006. – 400 с.
12. Cantos, P. Efficiency Measures and Output Specification: The Case of European Railways / Pedro Cantos, Jos M. Pastor, Lorenzo Serrano // J. of Transport and Statistics. – 2000. – Vol. 3, № 3. – P. 61–68.
13. Fagot, O. Maintenance du matériel roulant en Europe / O. Fagot // La Vie du Rail International. – 2008. – № 4. – P. 12–15.

О. С. КРАШЕНИНИН^{1*}, В. А. ГОГАЕВ¹

^{1*}Каф. «Эксплуатация и ремонт подвижного состава», Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, площадь Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел. + 38 (057) 730 19 99, эл. почта info@kart.edu.ua

¹Каф. «Эксплуатация и ремонт подвижного состава», Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, площадь Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел. + 38 (057) 730 19 99, эл. почта info@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-8327-3164

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ СОДЕРЖАНИЯ МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Цель. Эффективность функционирования парка моторвагонного подвижного состава (МВПС) как сложной системы в значительной мере зависит от режимов и условий его эксплуатации, которые определяются как их собственным состоянием, так и состоянием системы содержания. Поэтому целью является решение научно-технической проблемы системы содержания, технического обслуживания и ремонта моторвагонного подвижного состава (ПС). **Методика.** Статья посвящена вопросу технического обслуживания (ТО) и ремонта (Р) моторвагонного подвижного состава (МВПС) Украины. На основе теоретического исследования проанализирована ситуация, сложившаяся по техническому обслуживанию и ремонту МВПС. Приведен сравнительный анализ железнодорожного, автомобильного и авиационного транспорта. На основе анализа и сравнения авторами предложено переход от планово-предупредительной системы обслуживания железнодорожного транспорта к обслуживанию по фактическому состоянию. **Результаты.** Согласно приведенным теоретическим сравнениям поставленной проблематики в различных видах транспорта можно констатировать, что опыт и особенности эксплуатации ПС в смежных отраслях являются основанием для пересмотра и совершенствования системы его содержания, в том числе на различных стадиях эксплуатации. **Научная новизна.** Данная статья приводит сравнительный теоретический анализ системы содержания и ремонта железнодорожного, автомобильного и авиационного транспорта. **Практическая значимость.** Внедрение новых подходов к ТО и Р подвижного состава позволят осуществить постепенный переход от существующей планово-предупредительной системы ТО и Р к системе ремонта «по фактическому состоянию». При этом возможно максимальное сокращение количества внезапных отказов в эксплуатации путем обеспечения высокого коэффициента эксплуатационной готовности ПС (до 0,95). А приведенный сравнительный анализ системы обслуживания и ремонта является основанием целесообразности перехода.

Ключевые слова: техническое обслуживание; текущий ремонт; моторвагонный подвижной состав; сравнение технологии обслуживания и ремонта

O. S. KRASHENININ^{1*}, V. A. GOGAIEV¹^{1*}Dep. «Operation and Repair of Rolling Stock», Ukrainian State Academy of Railway Transport, Feuerbach Square, 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. + 38 (057) 730 19 99, e-mail info@kart.edu.ua¹Dep. «Operation and Repair of Rolling Stock», Ukrainian State Academy of Railway Transport, Feuerbach Square, 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. + 38 (057) 730 19 99, e-mail info@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-8327-3164

IMPROVEMENT DIRECTIONS OF MAINTENANCE SYSTEM OF MULTIPLE UNIT

Purpose. Efficiency of function multiple units park (MUP) as a complex system considerably depends on the modes and conditions of its operation, which is defined as the state of their eigenstate and state of the system content. The purpose is the decision scientifically - a technical problem of system of the content of maintenance operation and repair of a rolling stock. **Methodology.** Article is devoted to a question of the maintenance operation and repair of a rolling stock of Ukraine. On the basis of theoretical probe, the situation which has developed on maintenance operation and repair of MVPS is analysed. The comparative analysis of a railway, motor and air transportation is provided. On the basis of the analysis and comparison by authors it is offered transition from scheduled preventive to system of service of railway transport to service on an actual state. **Findings.** According to given theoretical comparison of the put perspective in different types of transport it is possible to note that experience and features of operation rolling stock in allied industries is the base for revision and improvement of system of the maintenance rolling stock, including at various stages of its operation. **Originality.** This article provides the comparative theoretical analysis, concerning contents and repair system between railway, automobile and by air. **Practical value.** Introduction new approaches of the maintenance operation and rolling stocks repair will allow carrying out gradual transition from maintenance operation and repairing existing scheduled preventive system in repair system «on an actual state». Thus it is possible maximum cutting-down of number of sudden refusals in operation, providing high coefficient of operational readiness of a rolling stock (to 0.95). A comparative analysis of the maintenance system and repair is the basis of the transition feasibility.

Keywords: maintenance operation; current repair; multiple unit; comparison of service technology and repair

REFERENCES

1. Bodnar Ye.B. Osnovni vymohy ta pryntsyipy stvorennia bortovykh system diahnostuvannia lokomotyviv [Basic requirements and principles of creation of on-board diagnostic systems for locomotives]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 49, pp. 68-74.
2. Marynenko I.V. Kapitalnyi remont ta modernizatsiia motorvahonnoho rukhomoho skladu. Problema onovlennia parku elektro- ta dyzel-poizdiv hospodarstva prymiskykh pasazhyrskykh perevezhen zaiznyts Ukrainy [Capital repair and modernization of the multiple unit. Fleet renewal problem of electric and diesel trains of suburban passenger transportations economy of Ukrainian railways]. *Lokomotiv-inform – Locomotive-Inform*, 2013, no. 11, pp. 43-46.
3. Bodnar B.Ye., Ochkasov O.B., Detsiura O.Ya., Cherniaiev D.V. Metody nerozbirnoho diahnostuvannia dyzeliv pry ekspluatatsii rukhomoho skladu [Methods of undismountable diagnosis of diesel engines during operation of rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 56-60.
4. Molchanov V.V., Shakhov V.G. Novyye tekhnologii i oborudovaniya kontrolya i diahnostirovaniya zheleznodorozhnoy tekhniki [New technologies and devices of control and diagnosing of railway engineering]. *Izvestiya Transsiba – Transsib News*, 2010, no. 4, pp. 116-120.
5. *Polozhennia pro planovo-poperedzhuvalnu systemu remontu i tekhnichnoho obsluhovuvannia tiahovoho rukhomoho skladu (elektrovoziv, teplovoziv, elektro- ta dyzel-poizdiv)* [Regulations on regular preventive system of repair and maintenance of traction rolling stock (locomotives, diesel locomotives, electric and diesel trains)]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2011. 26 p.
6. *Polozhennia pro tekhnichne obsluhovuvannia i remont dorozhnykh transportnykh zasobiv avtomobilnoho transportu* [Regulations on the maintenance and repair of road vehicles of automobile transport]. *Ofitsiynyi visnyk Ukrainy – Official Bulletin of Ukraine*, 1998, no. 18, p. 71.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

7. Pulariya A.L., Serdyuk M.Ye. *Primeneniye metodov kompyuternoy grafiki pri tekhnicheskoy diagnostike podvizhnogo sostava zheleznikh dorog* [Application of methods of computer graphics during technical diagnostics of railway rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 61-64.
8. *Tekhnicheskoye obsluzhivaniye podvizhnogo sostava v stranakh Yevropy* [Maintenance of rolling stock in the European countries]. *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the World*, 2009, no. 4, pp. 50-52.
9. Chinyuchin Yu.M., Polyakova I.F. *Osnovy tekhnicheskoy ekspluatatsii i remonta aviatsionnoy tekhniki. Chast I* [Foundations of technical operation and repair of aviation techniques. Part 1]. Moscow, MGTU GA Publ., 2004. 81 p.
10. Chinyuchin Yu.M., Polyakova I.F. *Osnovy tekhnicheskoy ekspluatatsii i remonta aviatsionnoy tekhniki. Chast I* [Foundations of technical operation and repair of aviation techniques. Part 1]. Moscow, MGTU GA Publ., 2006. 73 p.
11. Yagovkin A.I. *Organizatsiya proizvodstva tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta mashin* [Organization of production of maintenance and repair of machines]. Moscow, Izd. tsentr «Akademiya» Publ., 2006. 400 p.
12. Cantos Pedro, Pastor M. Jos, Serrano Lorenzo. Efficiency Measures and Output Specification: The Case of European Railways. *Journal of Transport and Statistics*, 2000, vol. 3, no. 3, pp. 61-68.
13. Fagot O. Maintenance du matériel roulant en Europe. *La Vie du Rail International*, 2008, no. 4, pp. 12-15.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Г. Пузирем (Україна); д.т.н., проф. С. В. Мямліним (Україна)

Поступила до редакції: 15.05.2014

Прийнята до друку: 18.07.2014

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

UDC 624.191.044

V. D. PETRENKO^{1*}, V. T. HUZCHENKO^{2*}, O. L. TIUTKIN^{3*}, D. V. TIUTKIN^{4*}

^{1*}Dep. «Tunnels Bases and Foundations», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 708 50 69, e-mail petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0002-5902-6155

^{2*}Dep. «Tunnels Bases and Foundations», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (095) 338 19 85, e-mail gndl-mehruntov@ndch.diiit.edu.ua, ORCID 0000-0001-7865-5881

^{3*}Dep. «Tunnels Bases and Foundations», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 290 45 18, e-mail tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

^{4*}Dep. «Tunnels Bases and Foundations», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 925 38 28, e-mail 380969253828@yandex.ru, ORCID 0000-0002-6517-2554

ANALYSIS OF DEFORMED STATE STRUCTURES OF THE KYIV METRO RUNNING TUNNELS ON A TRANSITION ZONE FROM SPONDYLOV'S CLAY TO BUCHATSKIY SANDS

Purpose. In the section of changes geotechnical conditions of spondylov's clay to buchatskiy sands may have significant structural deformation of running tunnels. It is necessary to identify the cause of deformities develop ways to minimize and based modeling and calculations to prove the effectiveness of measures to reduce deformation. **Methodology.** To solve the analysis problem of the stress-strain state (SSS) of the system «structure array» it was conducted the numerical simulation using the finite element method (FEM). On the basis of the obtained results the graphs were constructed and the dependencies were determined. **Findings.** The presence of weak water-saturated soils in tray of the tunnel on an area of transition from spondylov's clay to buchatskiy sand causes significant increasing in strain construction of tunnels and general vibration liquefaction in soil basis. Also change the physical and mechanical characteristics of soils within the frames of tunnels influences on the level of strain state of most frames. Improved strain state settings of tunnels in areas of change soil characteristics of the array (especially at the bottom of casing) can be achieved by chemical consolidation of weak soils. Composition of solutions for fixing the weak soils should be determined based on the study of grain size, porosity, and other parameters of physical and mechanical and physical and chemical characteristics of soils. **Originality.** The basic cause significant strain on transition zone from spondylov's clay to buchatskiy sands is found, that is explained by saturated phenomenon vibration liquefaction basis under the tunnel. **Practical value.** The approaches to reduce the strain in the construction of running tunnels in the transition zone from spondylov's clay to buchatskiy sands are developed, as well as in the area of the station «Glybochytska» the Kyiv Metro.

Keywords: vibration liquefaction of water-inundated basis; finite element method; stress-strain state; transition from spondylov's clay to buchatskiy sands; analysis of strains

Introduction

Currently, preparations have began for the design and construction of running tunnels near the

station «Glybochytska» in the direction of Podolsk-Vyhuryivskoyi metro line to housing estate «Troeshchyna» in Kyiv. In this direction

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

engineering-geological conditions have a very high level of complexity, especially in the transition zones from spondylov's clay to Buchatskiy Sands. Therefore, determining the strain state settings and soils in the transitional zone is an actual task which, needs to be resolved.

Purpose

As it is known, running tunnels in spondylov's clay are in a stable condition and deformation not exceeding the maximum allowable for the given category of soils [6, 10]. However, in the transition zone from spondylov's clay to water-saturated sands arising heavy load, which lead to the considerable deformations that is defined in elastic-plastic condition in spondylov's clay [2, 4]. Therefore the purpose of this research is the solution of the task construction running tunnels with a combined casing in complexity engineering-geological conditions which rather often meet in Kyiv.

Methodology

The basis of the calculation method based on the method of finite elements, using as the main unknown displacements and rotations basic units design scheme based on the calculation complex Structure CAD (SCAD) [7, 9, 11]. Type of the finite element, used in the calculation, is determined by its shape, features, which dependence between relocation in nodes of finite element and system nodes, by physical law that defines the relationship between internal forces and internal displacement, and a set of parameters (rigidities) are included in the description of this law and others [11–14]. All nodes and circuit elements are numbered. The numbers assigned to it should be interpreted only as names, which allow making the necessary links.

The sign convention for movement is accepted in such way, that the linear displacement is positive, if they are directed towards increasing the corresponding coordinates, and rotation angles are positive, if they comply with corkscrew rule.

For investigation the stress-strain state (SSS) of running tunnel created a spatial model from volume elements (Fig. 1 and 2).

The model is constructed of isoparametric finite elements such as prisms (34 and 36 type elements in complex SCAD) with consistent nodes [11]. Elements which used in the model of such size in the XZ plane: 0.24×0.24 m (more than 95% of the

volume of the FE scheme - the whole soil array and casing); 0.1×0.25 m (2.5% of scheme - modeling layer discharge per frame). It reflects the following features of the real structure [1, 5, 11]:

– the influence of spatial factor on the formation of the stress state, that is the influence of third component σ_y on components and σ_z ;

– the most full reproduction of interaction of a steel concrete casing with a soil array which generally changes its properties.

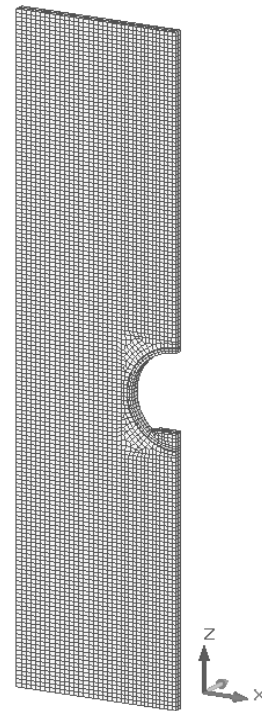


Fig. 1. Finite element model (FE-model) of running tunnel interaction with the surrounding array

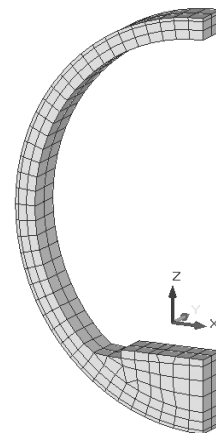


Fig. 2. Part of the running tunnel in a mode of presentation graphics

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Y-direction (along the length of the tunnel) size of items was 0.3 m, which proves less influence of the size of the FE in this area, although for model computational domain that size could be applied and elements of a considerable size, which is proposed in scientific works [1, 5, 11], which provided a recommendation to determine the size of the element as the characteristic size of the computational region.

The FE-model represents a half of real construction as it is the symmetric with the symmetrical load. Reproduction only half of the tunnel reduced the volume of calculations and allowed to carry out exact tunnel splitting and surrounding array on terminal elements that would be impossible by development of the whole model, as the quantity of FE in the applied complex is restricted equal 40 000 pieces.

The FE-model which was applied in all researches has the following sizes: X-direction – 10.0 m, Y-direction – 0.6 m; Z-direction – 40.0 m. That is the normal size of FE it would be possible to accept $2 \times 2 \times 2$ m, but it didn't allow reproducing more precisely specific characteristics of the "casing-tunnel" system, for example, a case of primary forcing. The total number FE-model nodes are 18 246, the total number of FE is 11 736 pieces. The quantity of FE testifies that the problem which was solved, is the task of average dimensionality (to 20 000 finite elements).

The model was created so that to reproduce all geometrical sizes of running tunnel: diameter internal – 5.6 m, diameter external – 6.04 m (the steel concrete blocks B30).

Applied bounding conditions are imposed to the scheme: model up without fastenings; the sides, parallel to tunnel axes (YZ plane) – inhibits of movements on axes X and Y; the sides are perpen-

dicular to tunnel axes (XZ plane) – inhibits of movements on axis Y (it most precisely corresponds to plane strain condition); model bottom – inhibits of movements on axes X, Y and Z. These boundary conditions most precisely allow recreating a real picture of model deformation [7, 9].

The deformation properties received from real probes of materials were provided to models, the stratigraphic record reflects array part, which surrounds a studied tunnel.

EGE 73 – bluish-greenish-gray marl clay, silty, micaceous, carbonate, with thin layers and nests of gray silty sand, sometimes fractured, water-permeable through cracks and sand layers, tough, medium-hard, firm (spondylov's clay);

EGE 75 – loam bluish-gray-green micaceous, silty, carbonate, and pyrite with phosphorous and pyrite nodule, firm, semi-solid, tough (sandy spondylov's clay);

EGE 77 – sand bluish-greenish-gray shallow, silty, muddy, marl clay, poorly micaceous, average firmness low-damp, damp, sated with water;

EGE 78A – sand grey, greenish-gray in places of average size, mid-weight, heavy, saturated with water.

Properties of engineering-geological elements are given in Table 1.

Stratigraphic record is shown on Fig. 3.

As for deformation properties and the nature of the soil it can be divided into clay and sand, to simplify calculations is formed table 2, which shows the average estimated values of the properties of layers that provide real stratigraphic records and used in numerical calculations (Fig. 4).

This change of real stratigraphic record lists valid, because the thickness of the layers, which are not taken into account, is small (1...2 m) and thus may not significantly influence to the pattern of deformation distribution.

Table 1

Soil Properties EGE

Number EGE	Protodyakonov scale of hardness f	Voids ratio e (unit fraction)	Specific cohesion C^u , kPa	Internal friction angle φ^u , grade	Deformation modulus E , MPa	Soil density ρ , t/m ³
73	1,0	0,767	78	15	30,0	1,96
75	0,8	0,627	5	18	25,0	2,01
77	0,6	0,574	3	28	20,0	1,82
78a	0,4	0,580	2	28	20,0	1,86

Soil Properties EGE

Number EGE	Moisture of soil W_0 , unit fraction	Poriness n , %	Humidity level, S_r , unit fraction	Transmission coefficient K_ϕ , m / day	Design resistance, R_0 , kPa
73	0,273	43,4	0,978	0,005	325
75	0,206	38,5	0,883	0,120	250
77	0,080	36,5	0,330	1,300	200
78a	0,260	36,7	–	5,000	200

Table 2

Soil Properties EGE

Number EGE	Protodyakonov scale of hardness f	Deformation modulus E , MPa	Density of soil ρ , t/m ³
73	0,9	27,5	1,99
78a	0,5	20	1,84

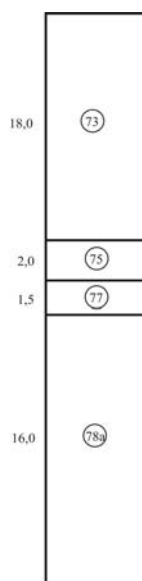


Fig. 3. Stratigraphic records of array part around tunnel



Fig. 4. Given stratigraphic records of array part around tunnel

Rigidity of the cement-sandy solution which is given on a casing in case of primary injection or grouting was such: the average thickness 0.1 m, the elastic modulus $E = 20\ 000$ MPa, Poisson's ratio $\mu = 0,2$, density $\rho = 2,2 \frac{m}{M^3}$.

Deformation properties of steel concrete received as are given characteristics, and for steel concrete on the basis of B30 concrete made: elastic modulus $E = 35\ 000$ MPa (in case of reinforcement percentage – 1...3%), Poisson's ratio $\mu = 0,2$, density $\rho = 2,5 \frac{m}{M^3}$.

Calculation of all models was executed on two loadings: 1) action metro train; 2) curb weight surrounding an array and construction. The accounting action of metro train it is reproduced in normative documents, for example, in Ukrainian national construction regulation B.2.3-7-2010. Metro system, p. 9.44. [3]. But estimates of the rolling stock impact remains some verification, as a given fact that the weight of the train is not more than 5...10% from actions of mountain pressure [6, 9]. According to paragraph 9.44 [3] load of rolling metro trains that operate on the track superstructure (TS) are normalized as follows: 1) normative vertical load $L = 150$ kN per axle; 2) regulatory horizontal longitudinal load from braking or traction – 10% from the standard

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

vertical load of the rolling stock, i. e. 15 kN at the level of the rack head; 3) regulatory horizontal transverse loads from impact undercarriages – applied at the level of the rack head uniformly distributed load with the intensity 2 kNm. Further study will be taken into account only – 1st load in the complex, 2nd and 3rd ignored due to the small size unlike the first.

For the application of loads from rolling stock modeled track superstructure (TS), in order to more adequately reproduce the system impact of metro trains. Geometric parameters of TS: ballast depth – 0.8 m, ballast material – concrete class B12.5 (modulus of elasticity $E = 27\,000$ MPa, Poisson's ratio $\mu = 0,2$, density $\rho = 2,5 \frac{m}{M^3}$). In TS reproduced not all assembled rails and sleepers, but only one sleeper.

Findings

Further researches of the strain state structure in the transition zone from clay to sand is carrying out. A series of calculations for this purpose is executed:

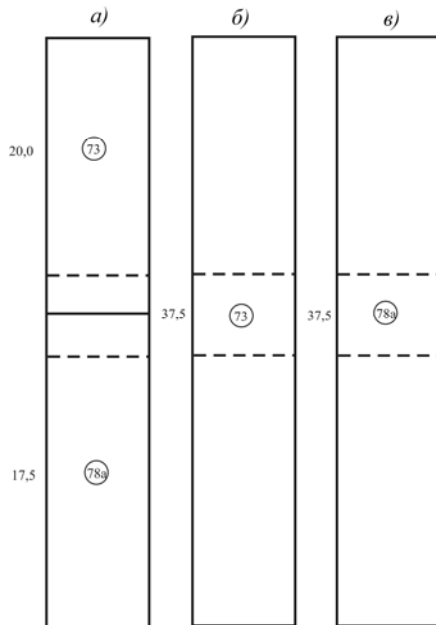


Fig. 5. Stratigraphic records with the placement of the tunnel (the dashed line denotes the position of the lock and tray):

a – option 1; *б* – option 2; *в* – option 3

1) Option 1 – the real case in which the tunnel crosses two soil layers (EGE 73 and EGE 78a, fig. 5, *a*);

2) Option 2 – a possible case where the tunnel lies in only one soil layer (EGE 73, fig. 5, *b*);

3) Option 3 – a possible case where the tunnel lies in only one soil layer (EGE 78a, fig. 5, *c*).

Option 2 and 3, which are hypothetical, provide an opportunity to further comparison strain state structure and array, as they are homogeneous. Strain state calculation of these two cases allows us to compare the value of the Option 1 and made the conclusion about the influence of stratification on the sediment development.

The basis of calculation based on the method of finite elements based on the estimated Complex Structure CAD (SCAD).

After creating the FE-models, held their calculation, the results of which are shown in Fig. 6 and 7.

Analysis downloads models it is the action of metro train allows you to separate it from its own weight array and construction on the principle of superposition can be added to it. The case demonstrates the validity metro train state structure, which interacts with the surrounding array, when all the processes of rock formation pressure have over. Calculation results showed that the impact of metro train for horizontal displacement casing hardly felt as mentioned strains in all three versions are the same (maximum – 0.4 mm in the horizontal diameter of casing). Horizontal deformations in the model, i. e. in the casing, which interacts with an array qualitatively almost identical, and is quantitatively, vary slightly (0.4...0.5 mm).

The same minor change in the model can be demonstrated and caused by the action of the array of horizontal deformations, which are qualitatively coincide in the model and in the fragment model (casing).

Analysis of Fig. 6 and 7 indicates that the impact of metro train on the vertical displacement casing are tangible, as mentioned strains in all three versions is within 10 mm (option 1 – 9.5 mm, option 2 – 7.2 mm, option 3 – 9.7 mm). In this component the difference between the options have significant and make 1.32 times between option 1 and 2 and 1.35 times between options 2 and 3, it is possible to prove that the tab of the array in option 2 (sealing in clay) is the most optimal, and the difference between option 1 and 2 is insignificant. Thus, the partial sealing of the tunnel in clay when sand is underlain by a layer of practically no effect positively on the deformation, due to pain use by another deformation capacity of sand.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

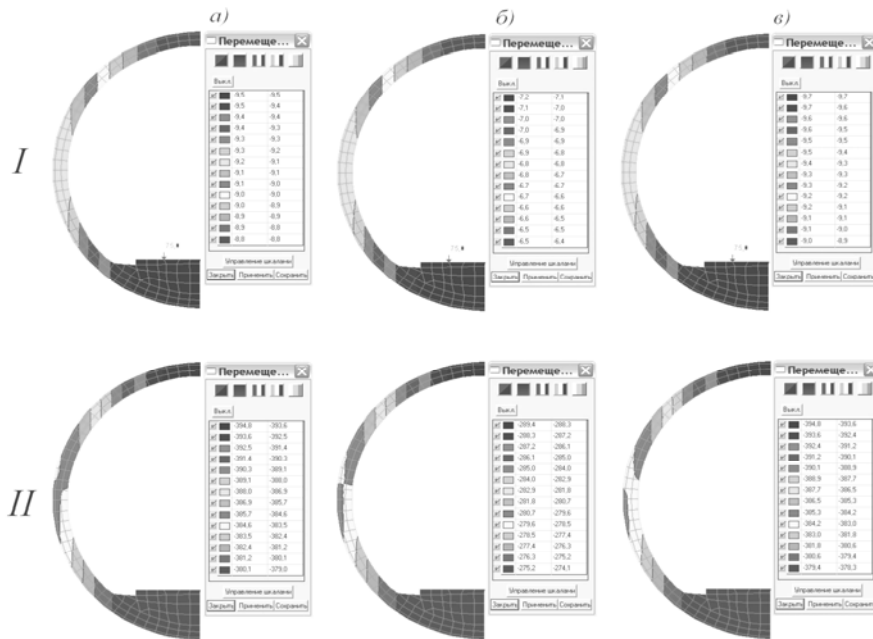


Fig. 6. Isolines and isofields of vertical displacements of tunnel casing from metro train action (I) and own model weight (II):
a – option 1; *б* – option 2; *в* – option 3

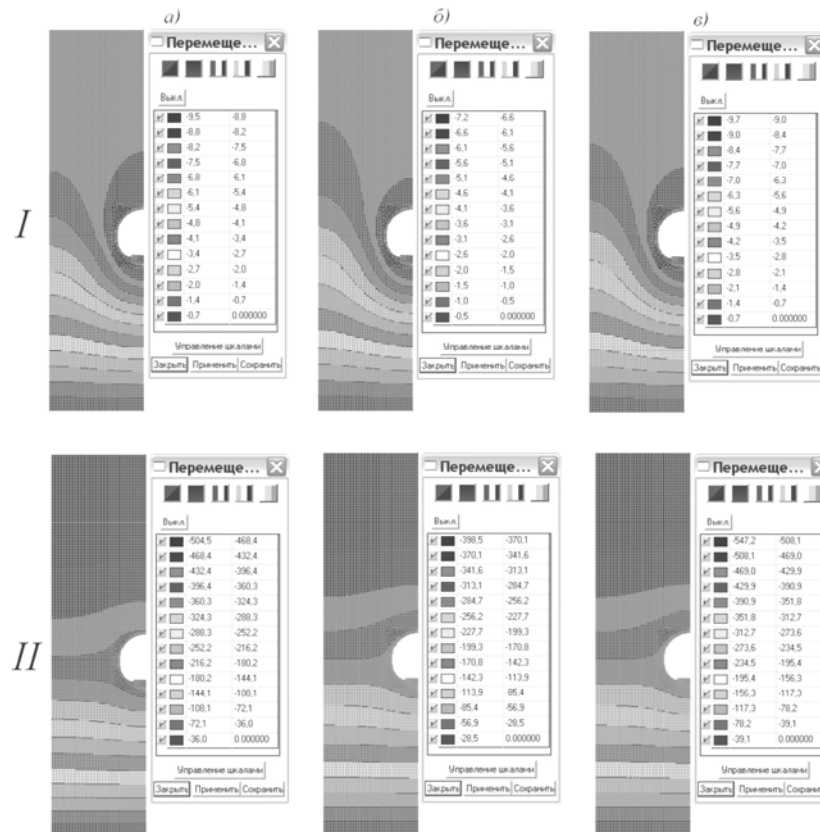


Fig. 7. Isolines and isofields of vertical displacements of array around the tunnel from metro train action (I) and model dead weight (II):
a – option 1; *б* – option 2; *в* – option 3

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

The vertical deformation array of actions qualitatively almost identical in the model and the fragment model (casing), but quantitatively they confirm what has been observed in the case of actions metro trains. But we should note the corresponding change in quantitative maximal values of vertical deformation (top model): Option 1 – 394.8 mm, option 2 – 289.3 mm, option 3 – 394.8 mm

To find absolute deformations of casing points, for example, in the lock, it is necessary to subtract value of deformation in it from value in a tray. Thus, the maximum values of vertical deformations in the lock make: option 1: $-394.8 - (-379) = -15.4$ mm, Option 2: $-289.3 - (-274.1) = 15.2$ mm, option 3: $-394.8 - (-378.3) = 16.5$ mm. It also testifies about bigger deformation ability of the array in option 1 and 3 though option 1 in this case of loading actions is closer to option 2.

One of the important factors that influence on the development of deformations, is the change of deformation properties, especially modulus deformation of soil, for example, under the influence of groundwater, especially because the layer of sand (EGE 78A is designated by availability of the underground waters dated to the buchatsko-kanevskogo water-bearing horizon which have tendency to lifting.

Calculation of real case of laying the tunnel (Option 1), but with change of the module of deformation of sand is carried out. It was already calculated the model with the module of deformation $E = 20$ MPa therefore six more calculations of Option 1 – with $E = 17.5$ MPa (sub-option 1) are carried out, 2 – $E = 15$ MPa (sub-option 2), 3 – $E = 12.5$ MPa (sub-option 3), 4 – $E = 10$ MPa (sub-option 4), 5 – $E = 7.5$ MPa (sub-option 5), 6 – $E = 5$ MPa (sub-option 6) results of calculations which are given in comparison with Option 1. Similarly to the previous calculation has defined maximum vertical deformation in the lock casing. In addition it should be noted that the qualitative picture of the distribution isofield movement has not changed, only the quantitative values.

The limited scope of the article is missing the opportunity to fully reflect the results of calculations. However, its deformed state confirms that the influence of deformation characteristics (deformation module of sand) minor effect on the horizontal deformation in the case of actions metro train, but for the actions of their own weight changes is noted.

Analyzing the absolute vertical deformation of the casing it should be noted that the decrease in the elasticity modulus of sand (modeling soaking) significantly affects to the vertical deformation of the frame. It should also be noted that this calculation was carried out in a static setting, although in real terms the dynamic impact from movement of metro train causes vibration liquefaction soaked sand under the casing of the tunnel.

Also the relationship between the modulus of elasticity and deformation of sand is quite natural character that can be tracked using a graphic (Fig. 8).

The graphic is built in the software package Microsoft Excel program functionality is made approximation of the results. As approximating function was chosen linear dependence, which is reflected by the equation $y = -0,15x + 15,729$, the value of the accuracy of the approximation is $R^2 = 0,9932$, indicating to very high coincidence of approximating linear function.

The maximum vertical deformation of casing constitute 15.6 mm at the slightest given modulus of elasticity of sand – 5 M underground waters Pa.

In real terms the additional dynamic performance of motion metro trains will lead to further growth of strains that will lead to limitation of speed metro trains in this part of the tunnel. Often, to reduce the strain that can occur with a decrease in carrying capacity of the base, use artificial methods of soil base. The simplest and most effective way to strengthen the artificial soil is pumping cement-sand mortar per frame. In order to predict the development of artificial deformation after grouting design model has been created, where at the base tunnel was fixed cement-sand mortar.

The rigidity of cement-sandy mortar, which is served for the casing when attaching, was as follows: modulus of elasticity $E = 20\,000$ MPa, Poisson's ratio $\mu = 0,2$, density $\rho = 2,2 \frac{m}{M^3}$. Thickness of a layer of the fixed sand is accepted by equal 1 m.

This way of fixing the soil was simulated when the elasticity module of the sand layer from 5 to 20 MPa. On the basis of calculations, we plot the dependence of the vertical deformation of the frame from the modulus of sand with a cement-sandy consolidation of the soil (Fig. 9). Loading was tried on from the weight of all models.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

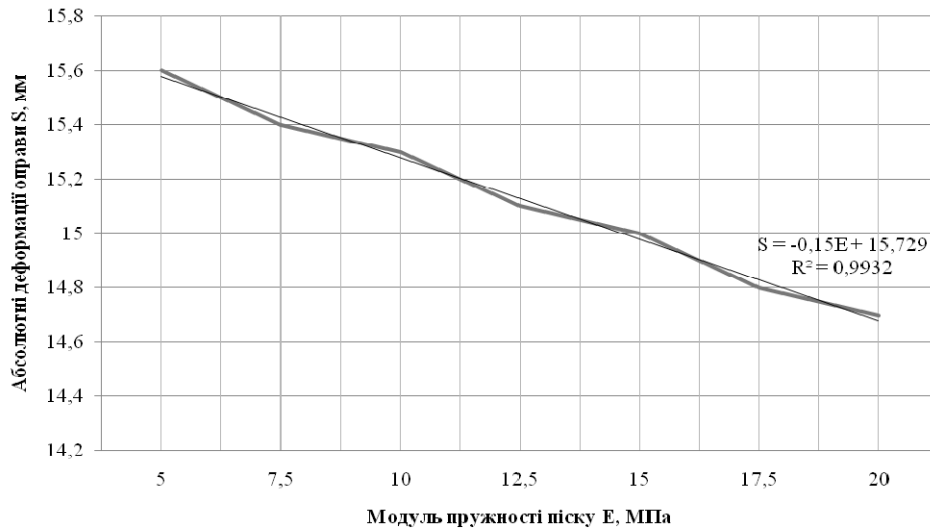


Fig. 8. Dependency diagrams of the vertical deformation of the casing from the module of elasticity sand

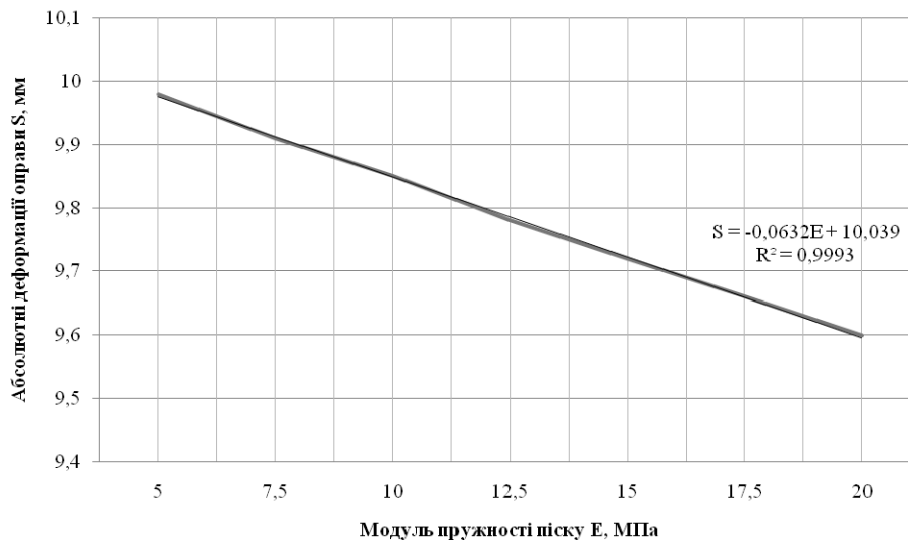


Fig. 9. Dependency diagrams of vertical deformation casing from the modulus of sand when executed grouting

The schedule of deformations in fig. 9 shows that after performance of artificial fixing of soil vertical deformations of a tunnel decreased on the average by 5.5 mm, that is approximately by a third from maximum them deformations in the absence of soil strengthening at the module of elasticity of 5 MPas. Besides such fixing of the soil is effectively as for not watered sand with the high module of elasticity, and water-saturated sand.

Originality and practical value

In paper identifies the main cause significant strain on the transition zones from spondylov's clay to Buchatskiy Sands, due to a phenomenon vibration liquefaction basis under the tunnel and

defines scientific novelty of the research. The approaches to reduce the strain in the construction of main line tunnels in the transition zone from spondylov's clay to Buchatskiy Sands, as well as near the station «Glybochytska» of the Kyiv Subway and this is the practical significance of this work.

Conclusions

On the basis of the conducted research of the running tunnels, which designed, near the station «Glybochytska» (the Kyiv subway) the following conclusions were drawn:

1. The presence of weak water-saturated soils in the tray part of tunnels, and also in the area

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

«Glybochytska», on a transition zone from the spondylov's clay to Buchatskiy Sands causes essential increases of deformations as designs of tunnels, and also the general vibration liquefaction in a soil basis.

2. Executed scientific study shows that changes in physical and mechanical properties of soils within the frames of tunnels influences the level of strain state of most frames.

3. Results of mathematical modeling indicate that the optimum sealing tunnels is the EGE 73 (spondylov's clay), since strain state at such occurrence was characterized by lower values of displacements.

4. Soaking the sand layer in the case of rising groundwater level will increase drawdown structure as a consequence of the reduced modulus of sand. The dependence between the deformation of the frame and a decrease in the elasticity modulus of sand is linear.

5. Injection of cement-sandy solution under tray part of the tunnel significantly reduces vertical deformation of the frame and is quite effective and inexpensive method of dealing with large deformations rims tunnels.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Большаков, В. И. Основы метода конечных элементов / В. И. Большаков, Е. А. Яценко, Г. Соссу. – Д. : ПГАСиА, 2000. – 255 с.
2. Вознесенский, Е. А. Поведение грунтов при динамических нагрузках / Е. А. Вознесенский. – М. : Изд-во МГУ, 1997. – 286 с.
3. ДБН В.2.3-7-2010. Споруди транспорту. Метрополітени. – К. : ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 195 с.
4. Кудрявцев, И. А. Влияние вибрации на основания сооружений / И. А. Кудрявцев. – Гомель : БелГУТ, 1999. – 274 с.
5. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – К. : Сталь, 2002. – 600 с.
6. Петренко, В. Д. Комплексний аналіз колонної станції із варіацією глибини закладення / В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін, В. І. Петренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 39. – С. 138–143.
7. Петренко, В. И. Современные технологии строительства метрополитенов в Украине / В. И. Петренко, В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкин. – Д. : Наука і освіта, 2005. – 252 с.
8. Тютюкін, О. Л. Основи енергетичного підходу до аналізу напружено-деформованого стану системи «кріплення–масив» / О. Л. Тютюкін // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 26. – С. 141–146.
9. Тютюкін, О. Л. Розробка теоретичних основ модифікованого методу розрахунку тунелів колового окреслення / О. Л. Тютюкін, В. А. Мірошник // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : зб. наук. праць / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 2. – С. 96–100.
10. Фролов, Ю. С. Метрополитены : учеб. для вузов / Ю. С. Фролов, Д. М. Голицынский, А. П. Ледаев. – М. : Желдориздат, 2001. – 528 с.
11. SCAD для пользователя / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер и др. – К. : ВВП «Компас», 2000. – 332 с.
12. Analysis of interaction between tunnels in soft ground by 3D numerical modeling / Hamid Chakeri, Rohola Hasanpour, Mehmet Ali Hindistan, Bahtiyar Ünver. – Bull. of Engineering Geology and the Environment. – 2011. – Vol. 70. – Iss. 3. – P. 439–448. doi: 10.1007/s10064-010-0333-8.
13. Buckling of the steel liners of underground road structures: the sensitivity analysis of geometrical parameters / Ali Ghorbani, Hadi Hasanzadehshooiili, Antanas Šapalas, Ali Lakirouhani. – The Baltic J. of Road and Bridge Engineering. – 2013. – Vol. VIII, № 4. – P. 250–254. doi: 10.3846/bjrbe.2013.32.
14. Zheng, Gang. Numerical analyses of influence of overlying pit excavation on existing tunnels / Gang Zheng, Shao-wei Wei. – J. of Central South University. – 2008. – Vol. 15. – Iss. 2. Supplement. – P. 69–75. doi: 10.1007/s11771-008-0438-4

В. Д. ПЕТРЕНКО^{1*}, В. Т. ГУЗЧЕНКО^{2*}, О. Л. ТЮТЬКІН^{3*}, Д. В. ТЮТЬКІН^{4*}

^{1*}Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, ел. пошта petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0002-5902-6155

^{2*}Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (095) 338 19 85, ел. пошта gndl-mehruntov@ndch.diiit.edu.ua, ORCID 0000-0001-7865-5881

^{3*}Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, ел. пошта tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

^{4*}Каф. «Тунелі, основи та фундаменти», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (096) 925 38 28, ел. пошта 380969253828@yandex.ru, ORCID 0000-0002-6517-2554

АНАЛІЗ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ ПЕРЕГІННИХ ТУНЕЛІВ КИЇВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ НА ДІЛЬНИЦІ ПЕРЕХОДУ ВІД СПОНДИЛОВИХ ГЛИН ДО БУЧАЦЬКИХ ПІСКІВ

Мета. На ділянці зміни інженерно-геологічних умов із спондилових глин на бучацькі піски можуть виникати значні деформації конструкції перегінних тунелів. Тому в представленому дослідженні необхідно виявити причину розвитку деформацій, розробити шляхи її мінімізації та на основі моделювання й розрахунків довести ефективність заходів зі зменшення деформацій. **Методика.** Для вирішення проблеми аналізу напружено-деформованого стану (НДС) системи «конструкція – масив» проведено числове моделювання методом скінченних елементів (МСЕ). На основі отриманих результатів побудовано графіки та встановлено залежності. **Результати.** Наявність слабких водонасичених ґрунтів у лотковій частині тунелів на ділянці переходу від спондилових глин до бучацьких пісків викликає суттєве підвищення деформацій конструкції тунелів, а також загальні віброосідання в ґрунтовій основі. Крім того, зміна фізико-механічних характеристик ґрунтів у межах оправи тунелів суттєво впливає на рівень деформованого стану самих оправ. Покращення деформованого стану оправи тунелів на ділянках зміни характеристик ґрунтів навколишнього масиву (особливо підстеляючих оправу) може бути досягнуто шляхом хімічного закріплення слабких ґрунтів. Склад розчинів для закріплення слабких ґрунтів повинен визначатися на основі вивчення їх гранулометричного складу, показників пористості та інших фізико-механічних і фізико-хімічних характеристик ґрунтів. **Наукова новизна.** Виявлено основну причину значних деформацій на ділянці переходу від спондилових глин до бучацьких пісків, що пояснюється явищем віброосідання водонасиченої основи під тунелем. **Практична значимість.** Розроблено підходи зі зменшення деформацій при будівництві перегінних тунелів на ділянці переходу від спондилових глин до бучацьких пісків, а також у зоні станції «Глибочицька» Київського метрополітену.

Ключові слова: віброосідання водонасиченої основи; метод скінченних елементів; напружено-деформований стан; перехід від спондилових глин до бучацьких пісків; аналіз деформацій

В. Д. ПЕТРЕНКО^{1*}, В. Т. ГУЗЧЕНКО^{2*}, А. Л. ТЮТЬКИН^{3*}, Д. В. ТЮТЬКИН^{4*}

^{1*}Каф. «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, эл. почта petrenko1937@mail.ru, ORCID 0000-0002-5902-6155

^{2*}Каф. «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (095) 338 19 85, эл. почта gndl-mehruntov@ndch.diit.edu.ua, ORCID 0000-0001-7865-5881

^{3*}Каф. «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, эл. почта tutkin@mail.ru, ORCID 0000-0003-4921-4758

^{4*}Каф. «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (096) 925 38 28, эл. почта 380969253828@yandex.ru, ORCID 0000-0002-6517-2554

АНАЛИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПЕРЕГОННЫХ ТОННЕЛЕЙ КИЕВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА НА УЧАСТКЕ ПЕРЕХОДА ОТ СПОНДИЛОВЫХ ГЛИН К БУЧАЦКИМ ПЕСКАМ

Цель. На участке изменения инженерно-геологических условий от спондиловых глин к бучанским пескам могут возникать значительные деформации конструкции перегонных тоннелей. Поэтому в представленном исследовании необходимо выявить причину развития деформаций, разработать пути их минимизации и на основании моделирования и расчетов доказать эффективность мероприятий по уменьшению деформаций.

Методика. Для решения проблемы анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) системы «конструкция – массив» проведено численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ). На основе полученных результатов построены графики и установлены зависимости. **Результаты.** Наличие слабых водонасыщенных грунтов в лотковой части тоннелей на участке перехода от спондиловых глин к бучанским пескам вызывает существенное повышение деформаций конструкции тоннелей, а также общие виброосадки в грунтовом основании. Кроме того, изменение физико-механических характеристик грунтов в пределах обделки тоннелей существенно влияет на уровень деформированного состояния самих обделок. Улучшение деформированного состояния обделок тоннелей на участках изменения характеристик грунтов окружающего массива (особенно подстилающих обделку) может быть достигнуто путем химического закрепления слабых грунтов. Состав растворов для закрепления слабых грунтов должен определяться на основе изучения их гранулометрического состава, показателей пористости и других физико-механических и физико-химических характеристик грунтов. **Научная новизна.** Обнаружена основная причина значительных деформаций на участке перехода от спондиловых глин к бучанским пескам, что объясняется явлением виброосадки водонасыщенного основания под тоннелем. **Практическая значимость.** Разработаны подходы по уменьшению деформаций при строительстве перегонных тоннелей на участке перехода от спондиловых глин к бучанским пескам, а также в зоне станции «Глыбочицкая» Киевского метрополитена.

Ключевые слова: виброосадка водонасыщенного основания; метод конечных элементов; напряженно-деформированное состояние; переход от спондиловых глин к бучанским пескам; анализ деформаций

REFERENCES

1. Bolshakov V.I., Yatsenko Ye.A., Sossu G. *Osnovy metoda konechnykh elementov* [Fundamentals of the finite elements method]. Dnipropetrovsk, PGASiA Publ., 2000. 255 p.
2. Voznesenskiy Ye.A. *Povedeniye gruntov pri dinamicheskikh nagruzkakh* [Behavior of soils under dynamic loads]. Moscow, MGU Publ., 1997. 286 p.
3. DBN V.2.3-7-2010. *Sporudy transportu. Metropoliteny* [Transport facilities. Subways]. Kyiv, DP «Ukrarkhbudinform» Publ., 2011. 195 p.
4. Kudryavtsev I.A. *Vliyaniye vibratsii na osnovaniya sooruzheniy* [Effect of vibration on the base structures]. Gomel, BelGUT Publ., 1999. 274 p.
5. Perelmuter A.V., Slivker V.I. *Raschetnyye modeli sooruzheniy i vozmozhnost ikh analiza* [Computational models of structures and the possibility of their analysis]. Kyiv, Stal Publ., 2002. 600 p.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

6. Petrenko V.D., Tiutkin O.L., Petrenko V.I. Kompleksnyi analiz kolonnoi stantsii iz variatsiieiu hlybyny zakladennia [A comprehensive analysis of the column station with a variation of the depth]. *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 39, pp. 138-143.
7. Petrenko V.I., Petrenko V.D., Tiutkin O.L. *Sovremennyye tekhnologii stroitelstva metropolitenov v Ukraine* [Modern technologies of construction of subways in Ukraine]. Dnipropetrovsk, Nauka i osvita Publ., 2005. 252 p.
8. Tiutkin O.L. Osnovy enerhetychnoho pidkhodu do analizu napruzhenno-deformovanoho stanu systemy «kriplennia–masyv» [Fundamentals of the energy approach to the analysis of stress-strain state of the system «shield array»]. *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 26, pp. 141-146.
9. Tiutkin O.L., Miroschnik V.A. Rozrobka teoretychnykh osnov modyfikovanoho metodu rozrakhunku tuneliv kolovoho okreslennia [Development of theoretical bases of a modified method of calculation of tunnels circular profile]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka* [Bridges and tunnels: theory, research, practice], 2012, issue 2, pp. 96-100.
10. Frolov Yu.S., Golitsynskiy D.M., Ledyayev A.P. *Metropolityeny* [Subways]. Moscow. Zheldorizdat Publ., 2001. 528 p.
11. Karpilovskiy V.S., Kriksunov E.Z., Perelmutter A.V. *SCAD dlya polzovatelya* [SCAD for the user]. Kyiv. VVP «Kompas», Publ., 2000. 332 p.
12. Chakeri Hamid, Hasanpour Rohola, Hindistan Mehmet Ali, Ünver Bahtiyar. Analysis of interaction between tunnels in soft ground by 3D numerical modeling. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2011, vol. 70, issue 3, pp. 439-448. doi: 10.1007/s10064-010-0333-8.
13. Ghorbani Ali, Hasanzadehshooiili Hadi, Šapalas Antanas, Lakirouhani Ali. Buckling of the steel liners of underground road structures: the sensitivity analysis of geometrical parameters. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 2013, vol. VIII, no 4, pp. 250-254. doi: 10.3846/bjrbe.2013.32.
14. Zheng Gang, Wei Shao-wei. Numerical analyses of influence of overlying pit excavation on existing tunnels. *Journal of Central South University*, 2008, vol. 15, issue 2 Supplement, pp. 69-75. doi: 10.1007/s11771-008-0438-4.

Prof. Shashenko O. M., D. Sc. (Tech.); Prof. Biliaiev M. M., D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published

Received: May 30, 2014

Accepted: July 17, 2014

UDK 693.554.6

A. V. RADKEYVYCH^{1*}, A. N. NETESA^{2*}

^{1*}Dep. «Build Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (098) 307 81 44, ORCID 0000-0001-6325-8517

^{2*}Dep. «Build Production and Geodesy», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 195 50 27, e-mail andreynetesa@meta.ua, ORCID 0000-0002-3364-3446

APPLICATION PROSPECTS OF THREADED JOINT OF ARMATURE

Purpose. One of the main technological operations of buildings construction on the basis of monolithic frame systems is the production of mesh reinforcement. The current interest is the new ways specification of advanced bonding armature techniques without reliability weakness and design of the building in whole, as well as the finding of use prospects of screw-threaded joint of armature as the most technological and economic method of re-bars joints. **Methodology.** Advantages and disadvantages analysis of existing rebar compound technologies was implemented by couplings of different types and constructions. The most promising vertical constructions for the vertical bars joints in frameworks were determined. **Findings.** Researches of existing technologies of rebar joints by the couplings of different construction were carried out. The installation method of mesh reinforcement of vertical structural elements with the use of the special catching devices was developed. It allows considerably accelerating installation of mesh reinforcement. **Originality.** Regularity of labor intensiveness change of mesh reinforcement installation of columns at armature joint in vertical position by threaded couplings with the help of catching devices using special construction was determined. This allows substantially reducing the labor expenditures during installation of these elements. Dependence of labor intensiveness and cost of lap welding armature joints, by tub-seam welding and by thread coupling depending on its diameter was designated. Regularity of labor intensiveness changes of installation at armature joints by different methods taking into account preparatory works was defined. **Practical value.** The analysis of mechanical armature joints techniques was conducted. It will allow selecting methods of armature joints to increase the speed of construction works more economical and effective.

Keywords: armature; mechanical joint; cylinder thread; cone thread; coupling, that catches the device; installation

Introduction

Using statistical analysis of buildings and structures in Ukraine it is found that one of the structural types of construction projects are monolithic frame systems.

One of the main technological operations constructions of these buildings is the production of mesh reinforcement. Modern production techniques provide the rebar joint by welding or lap welding. With the continuous increase the cost of armature and energy resources, increasing the number of storeys in buildings it is necessary to define new and promising ways of armature joints without the reliability reduction of structures and buildings in general, as well as to develop the technology of joint execution in construction site conditions.

Problem statement. In modern construction in monolithic reinforced concrete structures 2 ways are used for armature joint: lap-joint and welding of bars. New standards SBN V.2.6-98-2009 [1] and SSTU B V.2.6-156-2010 [2] entered into force and

lap length increased up to 1.5–2 times., it makes this type of joint uneconomical for armature of large diameters used in the vertical elements. Welded joint, especially tub-seam welding that appropriate for large diameters armature of vertical elements is energy intensive and requires a lot of labor costs of highly skilled workers. In addition, quality control of this joint type is a complex and expensive procedure. Another shortcoming of armature welded joints is the inability to use heat-strengthened armature of high class. This leads to the increase of element section and rise in the cost of construction [9, 14–16]. One of the solution variants concerning this problem is using a threaded armature joint. But we need to develop an effective technology to ensure the installation speed and quality of work performance.

Analysis of recent research and identification of unresolved issues. Many studies are devoted to the problems of new armature joint types. In particular, they are as follows:

1. Armature joint with crimp couplings. The authors [4] propose the following technology: cyl-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

inder coupling is put on the armature bar so that half of it will close the butt-place in the specified bar. After that, the coupling part, put on the bar, is tighten using a hydraulic press. These operations are performed sequentially for all bars of structure. Next step: a new framework is installed so that the bars get in to the set couplings. Thereafter couplings are crimped sequentially in the top of the newly mounted framework.

Advantages of this method are:

- the use possibility of fitting for the armature of any class, including heat-strengthened one;
- butts finish of bars is not critical;
- high speed of elements installation;
- authors have declared high reliability of a joint;
- quality control for each butt is carried out with the pressure gauge check during reduction performance. Parameters are logged.

The disadvantages of this are as follows:

- joint is non-detachable. That is, in case of installation error it is necessary to destroy the joint elements with the possibility of armature damage;
- during crimp of couplings there is a need to use a hydraulic press or other crimp device. Accordingly press jaws or gripping devices have to pass between adjacent bars freely. This imposes design complexities:
 - the minimum distance between the bars should be limited, it often interferes with the optimal selection of the diameter and the number of bars in the structure;
 - it is necessary to use additional expensive equipment (hydraulic press);

2. Armature joints with threaded couplings. Authors [3, 6, 8, 10–13] have proposed the following technology: before placing in to the structure both bars, which will be connected afterwards, are subjected to special treatment: the bars ends are trimmed, and then they rolled thread using a special machine. Joint of bars is operated as follows: a female coupling is screwed on one of the bars with a torque wrench, and then the second bar is inserted and screwed in accordance with the specified in the technical documentation force.

The advantages of this method are as follows:

- the use possibility of a joint for armature of any class;
- high speed of elements installation;
- authors have declared high reliability of a joint;
- setting accuracy of the bars in to the vertical position of the project is not critical, since while

screwing the coupling, displacement of bars on height and more accurate positioning occur (using couplings with many-sided thread). In another option, the bar is lowered until it contacts the other one, whereupon the coupling, winding on it, does not change the distance between the bars (in case with positional couplings, or using locknuts);

- thread use increases the contact area surface in several times, it reduces the overall dimensions of the butt, and thus use such joint in more complex structural elements;

- the joint is detachable. In the case of installation errors or other situations one can spin couplings and dismantle the joint for 1–2 minutes. At the same time the coupling can be operated as secondary;

- it is easy to control proper joint operation using the number of threads, which remains outside the coupling and the force of coupling tightening mounted on the torque wrench;

- works on the machines are operated before armature installation at the stage of its manufacture. This allows you to perform all the preparatory work in a convenient location concurrently with the implementation of the remaining construction and installation works, which are carried out on the critical path. The framework is installed very quickly – it needs 30–60 seconds for tightening of one coupling, the tool is only a torque wrench;

- use of threaded armature joint technology allows performing operations by workers of lower qualifications, compared with tub-seam welding.

The disadvantages of this method are as follows:

- it is necessary to use additional expensive equipment (cutting machine, thread rolling machine);

- processing accuracy of bar butt is critically important (for thread rolling one needs clean cut that perpendicular to the longitudinal axis of the bar) and the bar length compliance (the butts of the bars in the fabricated part must be coplanar);

- difficulties with framework bars mounting may arise in the conditions of quick installation, that is being installed in to the couplings, fixed on the bars of structures. That is why one needs additional research to accelerate and simplify the installation process.

There is a variant of a threaded armature joint with tapered thread, both on the bars and couplings. But such thread imposes restrictions on the

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

installation methods (in particular, it is impossible to screw the coupling with the lock nut on the 1st bar, after that to screw on the 2nd. It is possible to use only one variant with position coupling), because the use is not reasonable.

Many questions should be solved:

1) Determining the most technologically advanced and cost-effective types of mechanical armature joints with the possibility of heat-strengthened armature;

2) Development an effective technology to ensure the speed of installation and quality of operations.

Purpose

Determining the use prospects of a threaded armature joints as the most technologically advanced and cost-effective method of armature rebar joints. Comparative analysis of the existing armature joints methods on a construction site. Determination of the most efficient, cost-effective and technologically advanced methods of armature joints among existing ones. Determination and solving problems related to the armature joints on the construction site.

Methodology

Advantages and disadvantages analysis of the existing rebar compound technologies using couplings of different types and constructions. Determination the most promising technologies for the vertical bars connection in the frames of the vertical structures.

Findings

The threaded joint of armature using the couplings with cylindrical thread seems to be the most technological. Currently at the market of connecting elements are presented the following types of the couplings:

1) Standard connecting couplings. The connection technology is as follows: Preliminary the thread is rolled on the bars, which are being connected. Then, the coupling is screwed onto the bar so that the bar takes a half of its length. Thereafter, the second bar is screwed into a coupling from the free side to the necessary effort using the torque wrench. Such couplings are the simplest and cheapest to manufacture. But they can be used only in cases where at least one of the bars can freely rotate.

2) The adaptor connecting couplings that joint the bars of different diameters. Joint technology is the same as that of the standard couplings.

3) Position couplings with the multidirectional thread. On the bars, which are being connected, the right and the left-hand thread is rolled. When connecting the bars the coupling is put on the both bars at the same time, and then it is screwed, pulling the bars together. The same number of windings on different sides ensures precise and uniform connection bars. The use of such couplings is complicated by the need of rolling the different types of threads on the bars.

4) Position connecting couplings with unidirectional thread. When installing the framework the both parts are screwed onto the corresponding bars simultaneously or in succession. Such couplings can be used for any joints without limitations, but they are rather expensive due to the manufacturing complexity.

It was developed a method using the standard connecting couplings for positional joints where none of the bars, which are being connected can not rotate. It consists in the fact that initially the thread of greater length is rolled on the bars. The length of the rolled thread should make it possible to screw the locknut and coupling on the each bar completely. First on the connection bar is screwed the locknut and then the connecting coupling, completely. After that, the second bar is lowering on the coupling face until it touches the first bar. Thereafter, the coupling is screwed onto the second bar twisting from the first one. When the coupling is in the middle position and the both bars are evenly screwed into the coupling, the locknut clamps it, ensuring its spatial position. At this the twisting effort of the locknut should be in accordance to the technical documentation for the technology of the armature connection provided by the supplier.

The most appropriate solution to provide the speed and adaptability of installation is the use of special catching devices [7, 8]. One of the variants of such device is shown in Fig. 1.

The operation principle is as follows. Catching device (1) consists of two halves connected by the articulated joint on the one side and the closures (2) on the other side. The connecting coupling (3) on which the device is put, is being screwed on the connecting bar (4).

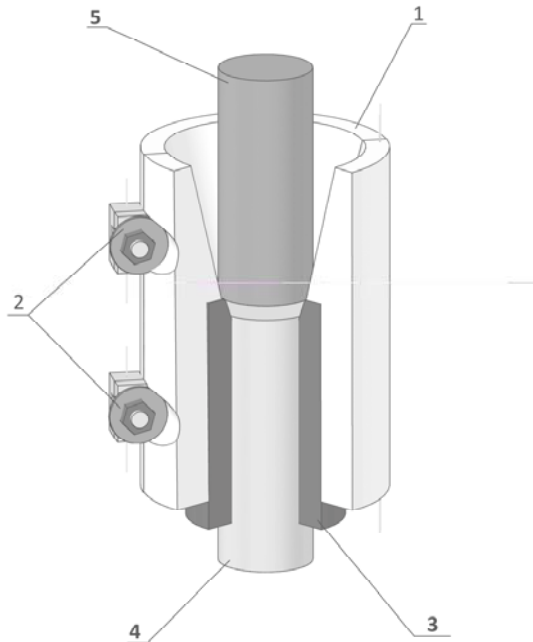


Fig. 1. Catching device

The bar of the framework (5), which is being installed at the lowering of the framework should fall into the accepting bowl at the top of the device (1). After that it slides down under the action of gravity until it reaches the coupling (3), its axis is a continuation of the axis of the lower bar (4). Once all the bars are in the design position, the closures (2) are being untwisted and unlocked and the catching devices (1) are removed. Another possible variant to facilitate the installation of elements is to use a special jig plate that will hold the bars, providing the design distance between them. Such jig plate should be manufactured and installed into the column framework at the stage of manufacture. But the use of such jig plate will complicate the framework production; it will not compensate possible deviations of the bar lengths during production, as well as it will lead to the waste of armature. So, this option requires additional technological and economic research.

Using the technology of threaded joint of the armature will solve another important problem – reducing the amount of waste products of armature during manufacture of the mesh reinforcement. During the manufacturing process of mesh rein-

forcement there is a lot of waste – residues of the bars up to 2 m length, which is almost impossible to apply in the future work. It is connected with the inability to determine the optimal bar cutting, delivery to the construction yard of the bars of different lengths, and many other factors. The estimated values of armature residues depending on the diameter are shown in the Table 1.

Table 1

Estimated values for residues values depending on the diameter

Diameter, mm	Residue value, %
6–12 mm	0–1.5%
14–20 mm	1.5–7%
22–32 mm	3.5–12%
36–40 mm	15–33%

These residues accrue to the bars of such length that it is practically impossible to use them in the construction process when connecting using the standard method. Shortening of the column framework for the purpose of rational cutting of the rebar increases the butt number, which leads to high costs of labor and time, as well as slows down the construction process.

Using a threaded joint of armature creates a technology of continuous bar. The technology is as follows. When cutting the standard 12-meter rebar the residues using the threaded coupling are attached to the new bars. After that comes cutting for the set length and manufacture of the frames. As compared to the combination of residues into the bars of the set length the following advantages are obtained:

- 1 bar up to 12 m length contains no more than 1–2 butts. This makes it possible to distribute the butts evenly along the construction length and ensure its higher reliability;

- the possible difference in time for bars preparation from the armature residues and of the logs is compensated. It allows one to design more efficient process for the armature preparation.

A disadvantage of this technology is only production complicating. It is necessary the careful measuring and cutting the armature to obtain the desired length of the bars. But these works are carried out in parallel with the main process, without affecting the duration of the works, which are carried out in the critical way.

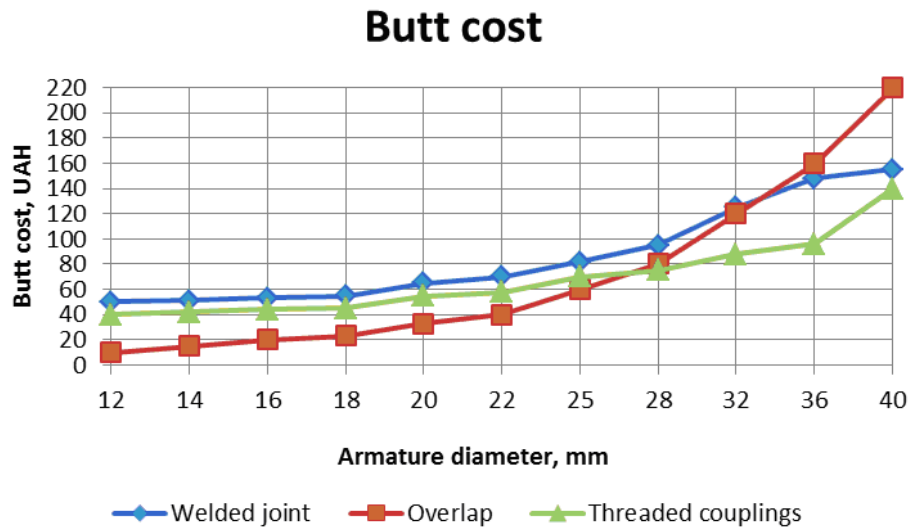


Fig. 2. Costs for butt armature of different types

The Fig. 2 shows the relative values of one butt for different types of armature junction. The calculations were performed for the reinforcement of the brand A400S. The position couplings BARTEK produced by the corporation DEXTRA were taken as the threaded couplings. For the armature of A500 class the tub-seam welding is not applied. And the cost of overlap will increase due to the increased cost of the armature itself. Cost of works taking into account the wages and material cost as of 01/01/2014 were taken according to the software package AVK-5 version 2.12.2 (recommended for use by all participants in the building, the letter of the Ministry of Regional Construction of Ukraine no. 9/10-1306 from 31.12.2008). Time to install the butt by the threaded couplings was taken on the basis of study of the video materials presented by the company DEXTRA.

Cost of the threaded couplings was taken on the basis of the catalog of DEXTRA Company excluding depreciation of equipment to cut the armatures and rolling of the thread. The following prices for materials and resources were taken into account:

- armature A400S and A500 – cost 8 000 UAH/tn;
- tubs for welding – 16 UAH/kg;
- electrodes for welding, diameter 4 mm, mark E50 – 12.85 UAH/kg;
- costs for 1 person/hr for the worker constructor (welder) of the 6 category – 28 UAH;
- costs of 1 person/hr for the worker constructor of the average category 4.6 – 22.76 UAH; (the calculation of the cost of the workers labor include

the average monthly salary of 3 400 UAH for the category 3.8).

The Fig. 2 shows that the lap joint is the most economical for the armature diameter up to 25 mm. But at this the area of the framework reinforcement in the junction area is doubled that leads to complications when laying the concrete mix and overreinforcing of the element.

In addition, during overlap the armature is not connected coaxially, and this leads to the appearance of unaccounted calculations of eccentricities and eccentric work of rebars.

The Fig. 3 presents the comparative time expenditures for rebar junctions of different types provided the work of 1 employee. Connection of armature by the threaded coupling allows one to perform the prior operations in parallel with the basic construction and installation operations that are performed using the critical path. As a result, the speed of direct installation of the mesh reinforcement approaches to the speed of installation with the armature overlap. It should also be noted that for connection by the threaded couplings are needed the workers of much lower qualification than, for example, for connection by tub-seam welding.

Change regularity of installation labor input of the mesh reinforcement columns under armature joints in a vertical position by the threaded couplings with the help of special designed catcher was determined. This will significantly reduce labor costs for installation of these items.

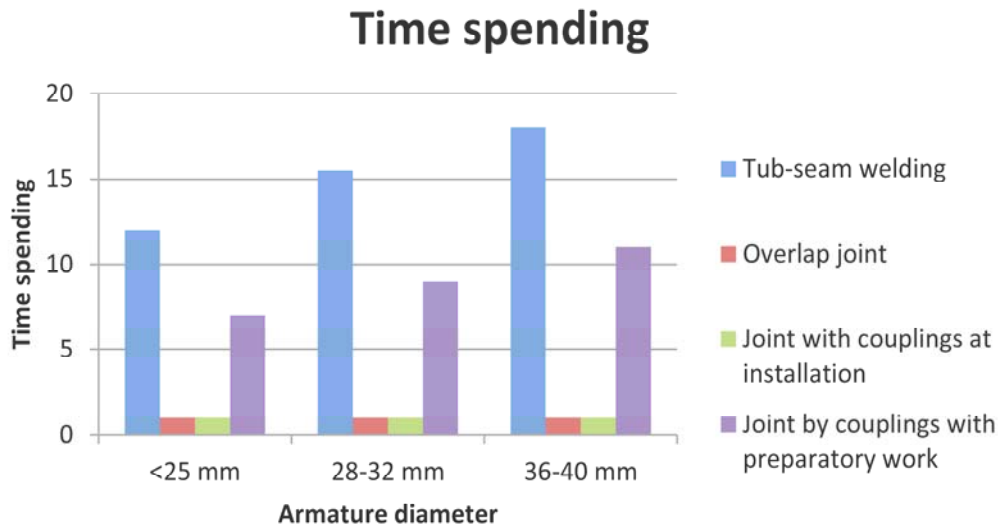


Fig. 3. Average time expenditure for butt installation for different types of joints

The dependence of the labor input and cost of the overlap armature joints using tube-seam welding and by means of threaded couplings, depending on its diameter was defined.

Change regularity of the installation labor input of the framework under joint was defined. Fig. 3. Average time spending for the butts system for different types of armature joints by different methods, taking into account the preparatory work was also determined.

Originality and practical value

The installation of the mesh reinforcement columns under armature joints in a vertical position by the threaded couplings with the help of special designed catcher was designed. This will significantly reduce labor costs for installation of these items.

The most economically and technologically advantageous joint methods of mesh reinforcement columns in a vertical position, depending on the diameter and the armature class were determined.

Conclusions

Threaded armature joint with the use of couplings with cylinder thread is the most promising type of armature joint for today. But further research and developments of operation technology are necessary. In particular, it requires the development of a production line for maximum adaptability in the performance of preparatory operations (rebar cutting, trimming, and thread rolling).

LIST OF REFERENCE LINKS

1. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – На заміну ДБН 2.03.01-84. – Введ. 2011–01–06. – К. : НДІБК, 2009. – 71 с.
2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого трьохкомпонентного бетону. Правила проектування. – К. : НДІБК, 2011. – 118 с.
3. Дьячков, В. В. Свойства и особенности применения в железобетонных конструкциях резьбовых и опрессованных механических соединений : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Дьячков Вячеслав Владимирович ; Науч.-исслед., проектн.-констр. и технол. ин-т бетона и железобетона им. А. А. Гвоздева. – М., 2009. – 22 с.
4. Пат. 115800 Российская Федерация, МПК E04C5/16. Муфтовое соединение арматурных стержней и муфта для этого / Конюшевский О. С. ; заявитель и патентообладатель ООО «ДомСтрой». – № 2011134314, заявл. 16.08.2011 ; опубл. 10.05.2012.
5. Пат. 2161688 Российская Федерация, МПК E21B17/10. Протектор-центратор / Ключин И. Я. ; заявитель и патентообладатель Ключин И. Я. – № 98121628 ; заявл. 24.11.1998 ; опубл. 10.01.2001.
6. Пат. 2454517 Российская Федерация, МПК E04C5/16. Способ монтажа арматурных стержней и каркасов, выполненных из них / Суруда В. В., Романов О. Д., Малинин И. В. ; заявитель и патентообладатель ООО «БИС-2». – № 2011108602, заявл. 04.03.2011 ; опубл. 27.06.2012.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

7. Пат. 124910 Российская Федерация, МПК E04C5/16. Стыковое соединение арматурных стержней / Смоляков Д. Г. ; заявитель и патентообладатель ООО «ГРАД-СТ». – № 2012144116, заявл. 15.10.2012 ; опубл. 20.02.2013.
8. Пат. 2085698 Российская Федерация, МПК E21B17/10. Центратор для буровых штанг/ Конаныхин А. И., Васильков В. К., Голдобин В. В., Конаныхин В. А., Макаренко М. Б., Давыдов В. Е. ; заявитель и патентообладатель Восточный научно-исследовательский горнорудный институт. – № 93020750, заявл. 21.04.1993 ; опубл. 27.07.1997.
9. Попова, В. В. Методы обоснования экономической эффективности строительных проектов / В. В. Попова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 2. – С. 56–60.
10. Руководство по применению механических соединений BARTEK производства корпорации DEXTRA [Electronic recourse]. – 2003. – 15 с. – Available at: <http://evrazmetall.ru/files/upload/pdf/333.pdf>. – Title from the screen.
11. Руководство по применению механических соединений LENTON производства корпорации ERICO [Electronic recourse]. – 2003. – 15 с. Available at: <https://erico.com/public/library/Concrete/LT1025.pdf>. – Title from the screen.
12. Технические условия. Соединения арматуры механические BARTEK производства фирмы DEXTRA. ТУ 4842-192-46854090-2005. – М. : НИИЖБ, 2005. – 19 с.
13. Технические условия. Соединения арматуры механические LENTON производства корпорации ERICO. ТУ 4842-196-46854090-2005. – М. : НИИЖБ, 2005. – 28 с.
14. Савицький, М. В. Вплив ексцентриситету на роботу стиснутих елементів в каркасі будівлі з ЛСТК / М. В. Савицький, О. Г. Зінкевич, А. М. Зінкевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 2. – С. 76–79.
15. Coogler, K. L. Evaluation of offset mechanical reinforcing bar systems / K. L. Coogler, K. A. Harries. – Pittsburgh : University of Pittsburgh, Department of Civil and Environmental Engineering. – 2006. – 71 p.
16. Coogler, K. L. Investigation of the behavior of offset mechanical splices. School of engineering // K. L. Coogler. – Pittsburgh : University of Pittsburgh. – 2006. – 118 p.

А. В. РАДКЕВИЧ^{1*}, А. М. НЕТЕСА^{2*}

^{1*}Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (098) 307 81 44, ORCID 0000-0001-6325-8517

^{2*}Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (063) 769 25 51, ел. пошта andreynetesa@meta.ua, ORCID 0000-0002-3364-3446

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ АРМАТУРИ

Мета. Однією з основних технологічних операцій спорудження будівель на основі монолітних каркасних систем є виготовлення арматурних каркасів. Актуальним при цьому є визначення нових перспективних способів з'єднання арматури без зниження надійної конструкції та будівель у цілому. Важливим також є знаходження перспектив використання різьбового з'єднання арматури як найбільш технологічного й економічного способу з'єднання арматурних стрижнів. **Методика.** Аналіз переваг і недоліків існуючих технологій з'єднання арматурних стрижнів здійснювали за допомогою муфт різного типу й конструкцій. Визначались найбільш перспективні для з'єднання вертикальних стрижнів у каркасах вертикальні конструкції. **Результати.** Проведено дослідження існуючих технологій з'єднання арматурних стрижнів за допомогою муфт різної конструкції. Розроблено спосіб монтажу арматурних каркасів вертикальних конструктивних елементів із використанням спеціальних уловлюючих пристроїв, що дозволяє значно прискорити монтаж каркасів. **Наукова новизна.** Визначено закономірність зміни трудомісткості монтажу арматурного каркаса колон при з'єднанні арматури у вертикальному положенні різьбовими муфтами за допомогою уловлювача спеціальної конструкції, що дозволяє істотно понизити витрати праці на монтаж цих елементів. Визначено залежність трудомісткості та вартості з'єднань арматури внапуск, ванношовною зваркою й за допомогою різьбових муфт залежно від її діаметру. Визначено закономірність зміни трудомісткості монтажу каркаса при з'єднанні арматури різними методами з урахуванням підготовчих робіт. **Практична значимість.** Проведено аналіз механічних способів

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

з'єднання арматури, визначено способи підвищення швидкості монтажу арматурного каркаса при використанні різьбового з'єднання арматури муфтами з циліндровим різьбленням.

Ключові слова: арматура; механічне з'єднання; циліндрова різьба; конусна різьба; муфта, що уловлює пристрій; монтаж

А. В. РАДКЕВИЧ^{1*}, А. Н. НЕТЕСА^{2*}

^{1*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (098) 307 81 44, ORCID 0000-0001-6325-8517

^{2*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (063) 769 25 51, эл. почта andreynetesa@meta.ua, ORCID 0000-0002-3364-3446

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ АРМАТУРЫ

Цель. Одной из основных технологических операций возведения зданий на основе монолитных каркасных систем является изготовление арматурных каркасов. Актуальным является определение новых перспективных способов соединения арматуры без снижения надежности конструкции и здания в целом. Важным также является нахождение перспектив использования резьбового соединения арматуры как наиболее технологичного и экономичного способа соединения арматурных стержней. **Методика.** Анализ преимуществ и недостатков существующих технологий соединения арматурных стержней осуществлялся с помощью муфт различного типа и конструкций. Определялись наиболее перспективные для соединения вертикальных стержней в каркасах вертикальные конструкции. **Результаты.** Проведены исследования существующих технологий соединения арматурных стержней с помощью муфт различной конструкции. Разработан способ монтажа арматурных каркасов вертикальных конструктивных элементов с использованием специальных улавливающих устройств, что позволяет значительно ускорить монтаж каркасов. **Научная новизна.** Определена закономерность изменения трудо-емкости монтажа арматурного каркаса колонн при соединении арматуры в вертикальном положении резьбовыми муфтами с помощью улавливателя специальной конструкции, что позволяет существенно снизить затраты труда на монтаже этих элементов. Определена зависимость трудоемкости и стоимости соединенной арматуры внахлестку, ванношовой сваркой и с помощью резьбовых муфт в зависимости от ее диаметра. Определена закономерность изменения трудоемкости монтажа каркаса при соединении арматуры разными методами с учетом подготовительных работ. **Практическая значимость.** Проведен анализ механических способов соединения арматуры, что позволит более экономично и эффективно подбирать способы соединения арматуры для повышения скорости выполнения строительных работ.

Ключевые слова: арматура; механическое соединение; цилиндрическая резьба; конусная резьба; муфта, улавливающее устройство; монтаж

REFERENCES

1. *DBN V.2.6-98:2009. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia* [State Building Norms V.2.6-98:2009. Constructions of houses and buildings. Concrete and reinforced-concrete constructions. Fundamentals]. Kyiv, NDIBK Publ., 2009. 71 p.
2. *DSTU B.V.2.6-156:2010. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii z vazhko trokhkomponentnoho betonu. Pravyla proektuvannia* [State Standard of Ukraine B.V.2.6-156:2010. Constructions of houses and buildings. Concrete and reinforced-concrete constructions from a heavy three-component concrete. Design rules]. Kyiv, NDIBK Publ., 2011. 118p.
3. Dyachkov V.V. *Svoystva i osobennosti primeneniya v zhelezobetonnykh konstruktsiyakh rezbovykh i opressovannykh mekhanicheskikh soyedineniy*. Kand. Diss. [Properties and use features of threaded and crimped mechanical connections in concrete structures. Cand. Diss.]. Moscow, 2009. 22 p.
4. Konyushevskiy O.S. *Muftovoye soyedineniye armaturnykh sterzhney i mufta dlya etogo* [Coupling joint of rebars and coupling for this purpose]. Patent RU, no. 2011134314, 2012.
5. Klyushin I. Ya. *Protector-tsentrator* [Protector-centralizer]. Patent RU, no. № 98121628, 2001.
6. Suruda V.V., Romanov O.D., Malinin I.V. *Sposob montazha armaturnykh sterzhney i karkasov, vypolnennykh iz nikh* [The method of rebars and frameworks installation, made of them]. Patent RF, no. 2011108602/03, 2012.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

7. Smoliakov D.H. *Stykovoye soyedyneniye armaturnykh sterzhnei* [Joint connection of rebars]. Patent RU, no. 124910, 2013.
8. Konanykhin A.I., Vasilkov V.K., Goldobin V.V., Konanykhin V.A., Makarenko M.B., Davydov V.Ye. *Tsentralizator dlya burovnykh shtang* [Centralizer for drill rods]. Patent RU, no. 2085698, 1997.
9. Popova V.V. Metody obosnovaniya ekonomicheskoy effektivnosti stroitelnykh proektov [Substantiation methods of economic efficiency of building projects]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 2, pp. 56-60.
10. *Rukovodstvo po primeneniyu mekhanicheskikh soyedineniy BARTEK proizvodstva korporatsii DEXTRA* (Reference guide concerning application of mechanical compounds BARTEK, production DEXTRA corporation), 2003. 15 p. Available at: <http://evrazmetall.ru/files/upload/pdf/333.pdf> (Accessed 21 May 2014).
11. *Rukovodstvo po primeneniyu mekhanicheskikh soyedineniy LENTON proizvodstva korporatsii ERICO* (Reference guide concerning application of mechanical compounds LENTON, production ERICO corporation), 2003. 15 p. Available at: <https://erico.com/public/library/Concrete/LT1025.pdf> (Accessed 21 May 2014).
12. *TU 4842-192-46854090-2005. Soyedyneniya armatury mekhanicheskiye BARTEK proizvodstva firmy DEXTRA* [Connections of armature are mechanical BARTEK productions of firm of DEXTRA]. Moscow, NIIZB Publ., 2005. 19 p.
13. *TU 4842-192-46854090-2005. Tekhnicheskiye usloviya. Soyedineniya armatury mekhanicheskiye LENTON proizvodstva korporatsii ERICO* [Specifications. Armature joints, mechanical LENTON, productions of ERICO corporation]. Moscow, NIIZhB Publ., 2005. 28 p.
14. Savitskiy M.V., Zinkevych O.H., Zinkevych A.M. Vplyv ekstsentrysytetu na robotu stysnutykh elementiv v karkasi budivli z LSThS [Influence of eccentricity on work of the compressed elements in framework of building with LSTC]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 2, pp. 76-79.
15. Coogler K.L. Harries K.A. Evaluation of offset mechanical reinforcing bar systems. University of Pittsburgh, Department of Civil and Environmental Engineering Publ., 2006. 71 p.
16. Coogler K.L. Investigation of the behavior of offset mechanical splices. School of engineering. University of Pittsburgh Publ., 2006. 118 p.

Prof. Bilokon A. I., D. Sc. (Tech.); Prof. Pshynko O. M., D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published

Received: May 30, 2014

Accepted: July 17, 2014

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

УДК 378.015.3:796

В. В. ПІЧУРІН^{1*}

^{1*}Каф. «Фізичне виховання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 64, ел. пошта valeriypichurin@gmail.com, ORCID 0000-0002-3893-375x

РІВЕНЬ РОЗВИТКУ ПСИХОЛОГІЧНОЇ І ПСИХОФІЗИЧНОЇ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СТУДЕНТІВ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ПРАЦІ НА ЗАЛІЗНИЦІ

Мета. Спеціальності залізничного транспорту висувають високі вимоги до розвитку ряду характеристик психологічної та психофізичної сфери особистості спеціаліста. Для організації цілеспрямованої роботи з їх ефективного формування студентам необхідно мати чітку інформацію стосовно існуючих тенденцій. Необхідно виявити ці тенденції. Таким чином, мета дослідження – встановити рівень розвитку ряду складових психологічної та психофізичної готовності до професійної праці в студентів-залізничників. **Методика.** У дослідженні використано методики психологічної діагностики (шкала оцінки рівня ситуативної та особистісної тривожності Ч. Спілбергера, опитувальник рівня суб'єктивного контролю Є. Ф. Бажина, розроблений на основі шкали рівня локусу контролю Дж. Роттера, тест Мюнстерберга, коректурна проба Бурдона), спеціальні фізичні вправи для оцінки сенсомоторних характеристик (швидкості в діях, стійкості вестибулярних реакцій). **Результати.** Встановлено існуючі тенденції відносно рівня розвитку в студентів: ситуативної та особистісної тривожності, рівня суб'єктивного контролю, вибірковості уваги, концентрації й стійкості уваги, швидкості в діях, стійкості вестибулярних реакцій. **Наукова новизна.** Новаторство в дослідженні полягає у виявленні рівня розвитку в студентів-залізничників ряду показників психологічної та психофізичної підготовленості до професійної праці. **Практична значимість.** Дані, отримані в процесі дослідження, дають уявлення про існуючі реалії відносно психологічної і психофізичної підготовленості студентів до професійної праці. Це є підґрунтям для організації цілеспрямованої роботи з формування в студентів психологічної й психофізичної підготовленості в ході навчальних занять.

Ключові слова: психологічна і психофізична підготовка; тривожність особистості; рівень суб'єктивного контролю; увага; швидкість у діях; стійкість вестибулярних реакцій

Вступ

Враховуючи велику професійну значимість, нами було виконано дослідження ефективності розвитку концентрації і стійкості уваги у студентів-залізничників в процесі їх психологічної і психофізичної підготовки під час занять з фізичного виховання. Важливим завданням вищої школи є формування в суспільно і професійно-значимому напрямку особистості майбутнього фахівця. Фізичне виховання має для цього суттєвий потенціал. Одним із напрямків його

використання в зазначеному контексті є психологічна і психофізична підготовка студентів до майбутньої професійної діяльності. Психологічна і психофізична підготовка розглядається автором як зорієнтоване на професію доповнення до навчальної дисципліни «фізичне виховання», головною метою якого є формування психологічної і психофізичної готовності. Необхідність проведення такої роботи визначається низкою обставин. Як зазначають психологи [10], стала типовою для життя і діяльності

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

людини необхідність приймати відповідальні рішення в ситуаціях з невизначеністю, яка пов'язана з дефіцитом або надлишком вхідної інформації. Це, зокрема, є характерним для більшості видів складної професійної діяльності, до складу яких входять і спеціальності залізничного транспорту. Сьогодні порушується питання про формування стресостійкості особистості, яка суттєво впливає на професійну діяльність в екстремальних умовах, забезпечує збереження працездатності і здоров'я [4]. У вирішенні зазначеної проблеми треба використовувати увесь можливий комплекс засобів, в тому числі і засоби фізичного виховання. Таку точку зору обстоює і відомий дослідник Ю. Л. Ханін, який вивчав питання управління емоційним станом студентів засобами фізичного виховання [11]. На нашу думку, на користь використання фізичного виховання в зазначеному контексті свідчить і сучасний погляд в психології на емоції як багатокомпонентне явище [12, 13, 14].

Одним із головних напрямків вдосконалення фізичного виховання як навчальної дисципліни у вищих навчальних закладах обґрунтовано вважається підсилення його професійної спрямованості. Вища школа – школа професійна. Відповідним має бути і вузівське фізичне виховання. Проблема удосконалення професійної спрямованості фізичного виховання досліджувалась за різними напрямками [1, 2, 3, 6, 7, 8, 9] та ін. Констатується, що існуюча система фізичного виховання не забезпечує в повній мірі психофізичну готовність випускників вузів до життєдіяльності і професійної праці і потребує подальшого вдосконалення. Наголошується на особливій актуальності досліджень, спрямованих на вирішення проблем вдосконалення професійної спрямованості фізичного виховання студентів [1].

Мета

Метою роботи є з'ясування реального рівня розвитку низку характеристик студентів-залізничників, які впливають на їх психологічну і психофізичну готовність.

Завдання дослідження:

1. Виявити рівень ситуативної і особистісної тривожності студентів та рівень їх суб'єктивного контролю.

2. Встановити рівень розвитку вибірковості та концентрації і стійкості уваги у студентів.

3. Встановити рівень розвитку сенсомоторних процесів у студентів (швидкості у діях, стійкості вестибулярних реакцій).

Методика

В дослідженні брали участь 420 студентів ДНУЗТ ім. акад. В. А. Лазаряна. З них 345 – юнаки і 75 – дівчата. Всі студенти навчалися на першому курсі таких факультетів як «Мости і тунелі», «Електрифікація залізниць», «Механічний», «Управління процесами перевезень», «Організація будівництва доріг та експлуатація колії», «Промислове та цивільне будівництво», «Економіка та менеджмент на транспорті», «Технічна кібернетика». Вік учасників дослідження складав 17–18 років.

Діагностику показників психологічної і психофізичної підготовленості виконували з використанням таких засобів. Під час діагностики ситуативної і особистісної тривожності у студентів використовувалась шкала оцінювання рівня ситуативної і особистісної тривожності Ч. Спілбергера в адаптації Ю. Л. Ханіна. Рівень суб'єктивного контролю вимірювався з допомогою опитувальника рівня суб'єктивного контролю Є. Ф. Бажина, розробленого на основі шкали локусу контролю Дж. Роттера. Вибірковість уваги у студентів визначалась із застосуванням тесту Мюнстерберга, а такі її характеристики як концентрація і стійкість – із застосуванням коректурної проби Бурдона. Оцінка сенсомоторних процесів у студентів здійснювалось з використанням спеціальних фізичних вправ [5]. Так для оцінювання швидкості у діях студенти виконували кидки баскетбольного м'яча в коло. Ставилось завдання виконати якомога швидше 20 кидків м'яча в стіну (в коло діаметром 50 см) з відстані в два метри. Результат, більший за 21 секунду, вважався низьким. Стійкість вестибулярних реакцій оцінювалась за допомогою таких вправ, як біг на 25 метрів з одночасним виконанням п'яти поворотів (обертів на 360 °) та стійкість після виконання перекидань. Під час виконання першої вправи ставилось завдання виконувати біг в коридорі шириною 150 см. Спочатку студенти виконували звичайне пробігання, а потім, пробігання з поворотами. Враховувалось збільшення часу пробігання і кількість виходів із коридору. Результат вважався відмінним у тому випадку,

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

якщо час пробігання збільшувався не більше, ніж на три секунди і не було допущено жодного виходу із коридору. При збільшенні часу більш ніж на 5 секунд або у випадку двох виходів із коридору, фіксувалась підвищена вестибулосоматична реакція. Під час виконання другої вправи студенти виконували 5 перекидань вперед за 10 секунд. Здатність впевнено зберігати основну стійку після виконання перекидань оцінювалась оцінкою «відмінно». При наявності нестійкості зі сходженням з місця до одного кроку ставилась оцінка «добре», до двох кроків – «задовільно», при більш значних відхиленнях або падінні – «незадовільно».

Результати

За показником ситуативної тривожності отримано такі результати (табл. 1). У юнаків (n = 345) 314 чоловік показали низький рівень ситуативної тривожності, що склало 91 %. Помірний рівень ситуативної тривоги був зафіксований у 31 студента, що склало 9 %. Високий рівень ситуативної тривоги зафіксовано не було. У дівчат (n = 75) низький рівень ситуативної тривожності показали 43 студентки, що склало 57 %. Середній – 32, що склало 43 %. Високий рівень цієї характеристики особистості, як і у юнаків, зафіксовано не було.

Таблиця 1

Рівень ситуативної тривожності студентів. N = 420

Table 1

Level of students situational anxiety. N = 420				
Рівні ситуативної тривожності	Юнаки		Дівчата	
	кількість	%	кількість	%
Низький	314	91	43	57
Помірний	31	9	32	43
Високий	0	0	0	0

За критерієм особистісної тривожності розподіл відбувся таким чином (табл. 2). У юнаків (n = 345) 41 чоловік продемонстрували низькі показники, що склало 12 %. До помірної рівня відносяться показники 255 студентів, що складає 74 %. Високі показники зафіксовано у 49 студентів, що склало 14 %. У дівчат (n = 75) низький рівень особистісної тривожності не зафіксовано. В той же час помірні результати

зафіксовано у 38 студенток, що складає 51 %. Високі – у 37 студенток, що складає 49 %.

Таблиця 2

Рівень особистісної тривожності студентів. N = 420

Table 2

Level of students personal anxiety. N = 420

Рівні ситуативної тривожності	Юнаки		Дівчата	
	кількість	%	кількість	%
Низький	41	12	0	0
Помірний	255	74	38	51
Високий	49	14	37	49

Діагностика рівня суб'єктивного контролю дала змогу виявити (табл. 3). Що, серед юнаків (n = 345) у 72 виявлено високий рівень суб'єктивного контролю, що складає 21 %. Середній рівень розвитку характеристики показали 273 студенти, що складає 79 %. Низький рівень не зафіксовано. У дівчат (n = 75) високий рівень суб'єктивного контролю виявлено у 14, що складає 19 %. Середній – у 61, що складає 81 %. Низький – не зафіксовано.

Таблиця 3

Рівень суб'єктивного контролю студентів. N = 420

Table 3

Level of students personal control. N = 420

Рівні суб'єктивного контролю	Юнаки		Дівчата	
	кількість	%	кількість	%
Низький	0	0	0	0
Середній	273	79	61	81
Високий	72	21	14	19

Результати дослідження вибіркості уваги у студентів наведено у табл. 4. За шкалою від 1 до 5 показники юнаків (n = 345) розподілись таким чином. Результат, що дорівнював одному балу, показали 3 студенти, що складає 1 %. Результат, що дорівнює двом балам, показав 31 студент, що складає 9 %. На рівні трьох балів результат показали 83 студенти, що склало 24 %. У чотири бали оцінено роботу 138 студентів, що склало 40 %. П'ять балів отримали 90 студентів, що склало 26 %. У дівчат

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

($n = 75$) виявлено, що результати на рівні одного і двох балів не показав ніхто. На рівні трьох балів себе проявили 2 студентки, що склало 3 %. У чотири бали оцінено результати 30 студенток, що склало 40 %. У п'ять балів оцінено роботу 43 студенток, що склало 57 %.

Таблиця 4

Вибірковість уваги студентів. N=420

Table 4

Бали	Юнаки		Дівчата	
	кількість	%	кількість	%
1	3	1	0	0
2	31	9	0	0
3	83	24	2	3
4	138	40	30	40
5	90	26	43	57

Результати діагностики рівня розвитку концентрації і стійкості уваги у студентів наведено у табл. 5. За шкалою від 1 до 9 [5] показники юнаків ($n = 345$) розподілились таким чином. Результат на рівні одного бала показали 52 студенти, що становить 15 %. На рівні двох балів роботу виконали 76 студентів (22 %). 83 учасники дослідження спрацювали на три бали, що становить 24 %. Чотири бали набрали 48 студентів (14 %). На рівні п'яти і шести балів спрацювали 35 і 34 студенти відповідно, що становить по 10 %. У сім балів оцінено результат 7 учасників (2 %). Вісім балів було нараховано за показники 10 студентів, що складає 3 %. На рівні дев'яти балів результатів не було зафіксовано. У дівчат ці ж показники розподілились таким чином. На рівні одного бала результатів не зафіксовано. Два і три бали отримали по 4 студентки, що склало по 5 %. 19 дівчат справились із завданням на чотири бали (25 %). На п'ять балів роботу виконали 26 студенток, що склало 35 %. Шість балів вдалось набрати 4 дівчатам (5 %). На рівні семи балів проявили себе 18 студенток, що склало 25 %. Вісім і дев'ять балів не набрала жодна із дівчат.

Під час діагностики рівня розвитку деяких сенсомоторних процесів у студентів за показником швидкості у діях (табл. 6) низький рівень продемонстрували 169 студентів, що становить

49 %. Достатній рівень виявлено у 176 студентів, що становить 51 %.

Таблиця 5

Концентрація і стійкість уваги студентів (у балах). N = 420.

Table 5

Concentration and attention fixation of students (in points). N = 420

Бали	Юнаки		Дівчата	
	кількість	%	кількість	%
1	52	15	0	0
2	76	22	4	5
3	83	24	4	5
4	48	14	19	25
5	35	10	26	35
6	34	10	4	5
7	7	2	18	25
8	10	3	0	0
9	0	0	0	0

Таблиця 6

Швидкість у діях студентів. N = 345

Table 6

Speed actions of students. N = 345

Рівень прояву	Кількість	%
Низький	169	49
Достатній	176	51

Таблиця 7

Стійкість вестибулярних реакцій студентів за результатами виконання бігу на 25 метрів з одночасним виконанням 5 поворотів. N = 345

Table 7

Vestibular reactions stability of students based on the results of running for 25 meters with concurrent execution of 5 turns. N = 345

Рівень прояву	Кількість	%
Відмінний	124	36
Підвищені вестибулярні реакції	221	64

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Стійкість вестибулярних реакцій (за результатами виконання бігу на 25 метрів з одночасним виконанням п'яти поворотів) на відмінному рівні зафіксована у 124 студентів, що становить 36 %. Підвищені вестибулярні реакції виявлені у 221 студента, що складає 64 % (табл. 7).

Під час діагностики стійкості вестибулярних реакцій за результатами 5 перекидань вперед за 10 секунд було зафіксовано, що табл. 8 на «відмінно» завдання виконали 24 студенти, що складає 7 %. На оцінку «добре» оцінено 86 студентів (25 %). Задовільні показники виявлено у 62 студентів (18 %). На незадовільному рівні були зафіксовані результати 173 студентів, що склало 50 %.

Таблиця 8

Стійкість вестибулярних реакцій студентів за результатами виконання 5 перекидань вперед за 10 секунд. N = 345

Table 8

Vestibular reactions stability of students based on the 5 forward-rolls results within 10 seconds. N = 345

Бали	5	4	3	2
Кількість	24	86	62	173
%	7	25	18	50

Дані, отримані в дослідженні стосовно ситуативної (реактивної) тривожності студентів, показують, що фізичне виховання не викликає відчуття тривоги у студентів. Абсолютна більшість студентів (як юнаків, так і дівчат) продемонструвала низький рівень ситуативної тривоги. Це дає підстави констатувати певне позитивне налаштування на фізкультурну діяльність, не сприйняття її як стресогенної. Така ситуація є сприятливою для вирішення низки завдань психологічної і психофізичної підготовки в процесі навчальних занять з фізичного виховання. Мова йде, насамперед, про подолання властивого для деяких студентів відчуття невпевненості в собі, про підвищення рівня психологічної просвіти.

Показники особистісної тривожності не були такими однозначними, як у випадку ситуативної. Незважаючи на те, що 86 % юнаків продемонстрували низький і помірний рівень особистісної тривоги, у 14 % виявлено високий. Це досить значна група, яка потребує спеціальної профілактичної роботи в процесі психоло-

гічної і психофізичної підготовки. На нашу думку, підвищити рівень впевненості у собі, і таким чином позитивно вплинути на високий рівень особистісної тривожності у цих студентів, можуть заняття єдиноборствами, атлетизмом і т. ін. Таких студентів доцільно об'єднувати в окремі навчальні групи і проводити з ними відповідну роботу.

У дівчат (порівняно з юнаками) показники особистісної тривожності виявилися набагато вищими. Високі показники зафіксовано у 49 % студенток, низькі – взагалі не зафіксовано. Для пояснення ситуації необхідні спеціальні психологічні дослідження. В рамках психологічної і психофізичної підготовки студенток із високими показниками особистісної тривожності необхідно залучати до занять, які будуть сприяти підвищенню впевненості у собі. Це можуть бути заняття художньою або спортивною гімнастикою, аеробікою, танцями, сахаджа-йоогою. Таких студенток також доцільно об'єднувати у окремі навчальні групи.

Важливою узагальненою характеристикою особистості, яка здійснює суттєвий вплив на формування міжособистісних відносин і способи розв'язання кризових (у тому числі і виробничих) ситуацій є рівень суб'єктивного контролю. Відповідно до концепції локусу контролю (Дж. Роттер) особи, які беруть відповідальність за події, що відбуваються у їхньому житті на себе (пояснюють їх своєю поведінкою, рисами особистості, здібностями), мають внутрішній (інтернальний) контроль. Особи ж, які налаштовані приписувати відповідальність за події зовнішнім чинникам (іншим людям, випадку і т. ін.), мають зовнішній (екстернальний) контроль.

Враховуючи відповідальність, яку несе сучасний інженер-залізничник, за збереження життя і здоров'я пасажирів, за збереження вантажів, нами було вивчено рівень суб'єктивного контролю у студентів-залізничників. За результатами, наведеними в табл. 3, видно, що 21 % юнаків та 19 % дівчат мають високий рівень суб'єктивного контролю. Це люди, які здатні взяти на себе відповідальність за те, що відбувається з ними та іншими (залежними від них) людьми. Середній рівень суб'єктивного контролю виявлено у 79 % юнаків та у 81 % дівчат. Вважається, що такі люди в однаковій мірі як беруть на себе відповідальність, так і перекладають її на інших. Низький рівень суб'єктивного контролю

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

у студентів нами не виявлено. Такі люди у більшості випадків знімають із себе відповідальність за те, що відбувається і перекладають її на обставини або інших людей. По суті, вони не володіють необхідною відповідальністю.

Виявлені тенденції дозволяють припустити, що абсолютна більшість абітурієнтів залізничних вузів усвідомлює, що професії залізничного транспорту покладають на людину велику особисту відповідальність. Ті з них, хто не готовий до цього, до залізничних вузів не поступають.

Для низки спеціалізацій залізничного транспорту (організація перевезень і управління на залізничному транспорті, електричний транспорт, рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту) винятково важливе значення має достатній розвиток різноманітних характеристик уваги. В роботі наведено дані стосовно розвитку вибіркової (див. табл. 4) та концентрації і стійкості (див. табл. 5) уваги студентів-залізничників. Стосовно вибіркової уваги виявлено, що у 66 % юнаків розвиток цієї характеристики знаходиться на рівні 4 і 5 балів (за 5-бальною шкалою). На рівні 3 балів виконали роботу 24 % студентів. 10 % мали незадовільні результати (на рівні 2 і 1 бала). Показники вибіркової уваги у дівчат виявилися суттєво вищими. 97 % з них виконали завдання на 5 або 4 бали.

Вибірковість уваги людини характеризує її здатність вибрати із численних сигналів тільки деякі із них. Вона пов'язана з можливістю успішного налаштування (за наявності перешкод) на сприйняття інформації, яка відноситься до усвідомленої цілі. Отримані дані показують, що дві третини студентів мають цю характеристику добре розвиненою (оцінки на рівні 5 і 4 балів). В той же час у третини студентів вибірковість уваги розвинена недостатньо (оцінки на рівні 1, 2 і 3 балів). Ця частина студентів потребує спеціальної психофізичної підготовки щодо її розвитку.

Слід відзначити суттєво вищі показники вибіркової уваги у дівчат порівняно з юнаками. Тут також було б доречним спеціальне психологічне дослідження.

Стійкість уваги розглядається в психології як здатність суб'єкта не відхилятися від спрямованості психічної активності і зберігати зосередженість на об'єкті уваги. Концентрація уваги передбачає визначення здатності суб'єкта зберігати

зосередженість на об'єкті уваги при наявності перешкод. Стійкість і концентрація уваги фахівця залізничного транспорту прямо пов'язана з такими питаннями його професійної праці, як безаварійність роботи, зниження травматизму, підвищення продуктивності праці та ін.

Аналіз даних, отриманих в ході дослідження концентрації і стійкості уваги студентів (див. табл. 5), виявив, що ця характеристика є недостатньо розвиненою у студентів. Результати на рівні від 1 до 4 балів (за 9-бальною шкалою) показали 75 % студентів. На рівні 7 і 8 балів завдання виконали тільки 5 %. На рівні ж 9 балів не зафіксовано жодного результату. У дівчат, як видно із таблиці, показники суттєво кращі, але й вони не можуть вважатися достатніми, враховуючи їх велику професійну значимість. На нашу думку, необхідна спеціальна, цілеспрямована психофізична підготовка з розвитку концентрації і стійкості уваги у студентів залізничних вузів.

Невід'ємною складовою трудової діяльності людини є активність її психомоторики. Специальності залізничного транспорту також висувають високі вимоги до рівня розвитку сенсомоторних процесів фахівця. Враховуючи це, в цій роботі було виконано дослідження таких характеристик, як швидкість у діях і стійкість вестибулярних реакцій. В дослідженні цих характеристик брали участь тільки юнаки. Відносно швидкості у діях було виявлено, що 49 % студентів мають низький рівень розвитку цього показника. Вони потребують організованої роботи щодо його покращення. Це позитивно вплине на їхню професійну придатність.

Стійкість вестибулярних реакцій студентів визначалась в дослідженні за результатами виконання таких фізичних вправ: 1) біг на 25 метрів з одночасним виконанням п'яти поворотів (обертів на 360°); 2) п'яти перекидань вперед за 10 секунд. Виконання першої вправи показало, що для 64 % студентів характерними є підвищені вестибулярні реакції (див. табл. 7). Такі люди, в разі виникнення відповідних впливів на організм, не зможуть ефективно виконувати професійні функції. Оцінка студентів за результатами виконання другої вправи була аналогічною (див. табл. 8). 50 % студентів показали незадовільні результати, 18 % – задовільні, і тільки 32 % виконали вправу добре або відмінно.

Важлива роль у розвитку сенсомоторних

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

процесів людини належить фізичній культурі та спорту. На нашу думку, отримані в дослідженні результати пояснюються сьгоднішніми реаліями викладання фізичної культури в школах. З низку об'єктивних і суб'єктивних причин (відсутність задовільної матеріальної бази і спортивного інвентарю, низький рівень проведення медичних оглядів школярів, збільшення кількості нещасних випадків під час навчальних занять, інертність багатьох учителів фізичної культури та ін.) шкільна фізична культура не може реалізувати свій значний потенціал щодо забезпечення високого рівня фізичного і психічного розвитку школярів. Вирішити це завдання (в рамках своїх можливостей) покликане фізичне виховання вищої школи.

Наукова новизна та практична значимість

Полягає у визначенні рівня розвитку низки показників психологічної і психофізичної готовності студентів-залізничників до професійної праці. Дані, отримані в ході дослідження, дають можливість цілеспрямовано проводити роботу з усунення існуючих недоліків, доцільно корегувати зміст навчальних занять.

Висновки

1. Навчальні заняття з фізичного виховання не викликають ситуативну тривогу у студентів. Така ситуація є сприятливою для вирішення завдань психологічної і психофізичної підготовки.

2. Аналіз результатів діагностики низки характеристик психологічної і психофізичної підготовленості студентів-залізничників показує їх відповідну непідготовленість.

3. Студенти-залізничники потребують спеціальної, цілеспрямованої психологічної і психофізичної підготовки в ході навчальних занять з фізичного виховання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Егорычев, А. О. Теория и технология управления психофизической подготовкой студентов к профессиональной деятельности : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04 / Егорычев Алексей Олегович ; Росс. гос. ун-т нефти и газа. – Ярославль, 2005. – 317 с.
2. Кабачков, В. А. Основы физического воспитания с профессиональной направленностью в учебных заведениях профтехобразования :

автореф. дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04 / Кабачков Виталий Алексеевич ; ВНИИФК. – М., 1996. – 63 с.

3. Коледа, В. А. Теоретико-методические основы формирования профессионально-личностных качеств студентов в процессе физического воспитания : автореф. дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04 / Коледа Виктор Антонович ; БГАФК. – Минск, 2001. – 33 с.
4. Корольчук, В. М. Психология стрессостойкости личности : автореф. дис. ... д-ра психол. наук : 19.00.01 / Корольчук Валентина Николаевна ; Ин-т психологии им. Г. С. Костюка. – К., 2009. – 39 с.
5. Методики психодиагностики в спорте : учеб. пособие для студентов пед. ин-тов / В. Л. Марищук, Ю. М. Блудов, В. А. Плахтиенко, Л. К. Серова. – М. : Просвещение, 1990. – 256 с.
6. Пічурін, В. В. Основи організації психологічної і психофізичної підготовки студентів залізничних вузів в процесі фізичного виховання / В. В. Пічурін // Наук. часопис НПУ ім. Драгоманова. Сер. № 15 : Наук.-пед. пробл. фіз. культури (фіз. культура і спорт) : зб. наук. пр. за ред. Г. М. Арзютова. – К. : Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова. – 2012. – Вип. 26. – С. 84–90.
7. Полянский, В. П. Теоретико-методические основы совершенствования прикладной физической культуры (ее содержания и форм) в современном обществе : автореф. дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04 / Полянский Валерий Петрович ; РГАФК. – М., 1999. – 62 с.
8. Раевский, Р. Т. Профессионально-прикладная физическая подготовка студентов технического вуза / Р. Т. Раевский. – М. : Высш. шк., 1985. – 168 с.
9. Садовский, В. А. Формирование двигательной готовности специалистов железнодорожного транспорта в условиях профессионально ориентированной системы физического воспитания : автореф. дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04 / Садовский Василий Александрович ; Бурятский гос. ун-т. – Улан-Уде, 2012. – 49 с.
10. Скотникова, И. Г. Проблема уверенности: история и современное состояние / И. Г. Скотникова // Психолог. журн. – 2002. – Т. 23, № 1. – С. 52–60.
11. Ханин, Ю. Л. Управление эмоциональным состоянием студентов средствами физического воспитания / Ю. Л. Ханин, Г. В. Буланова // Стресс и тревога в спорте : междунар. сб. науч. статей. – М. : ФиС, 1983. – С. 261–267.
12. Harré, R. Emotions as cognitive-affective-somatic hybrids / R. Harré // Emotion Review. – 2009. – 1 (4). – P. 294–301. doi: 10.1177/1754073909338304.

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

13. Izard, C. E. Emotion theory and research: High-lights, unanswered questions, and emerging issues / C. E. Izard // *Annu. Review of Psychology*. – 2009. – № 60 (1). – P. 1–25. doi: 10.1146/annurev.psych.60.110707.163539.
14. Scherer, K. R. What are emotions? And how can they be measured? / K. R. Scherer // *Social Science Information*. – 2005. – № 44 (4). – P. 695–729.

В. В. ПИЧУРИН^{1*}

^{1*}Каф. «Физическое воспитание», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 64, эл. почта valeriypitchurin@gmail.com, ORCID 0000-0002-3893-375x

УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ И ПСИХОФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ СТУДЕНТОВ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ТРУДУ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Цель. Специальности железнодорожного транспорта предъявляют высокие требования к развитию ряда характеристик психологической и психофизической сферы личности специалиста. Для организации целенаправленной работы по их эффективному формированию студентам необходимо иметь чёткую информацию относительно существующих тенденций. Необходимо выявить эти тенденции. Таким образом, цель исследования – установить уровень развития ряда составляющих психологической и психофизической готовности к профессиональному труду в студентов-железнодорожников. **Методика.** В исследовании использованы методики психологической диагностики (шкала оценки уровня ситуативной и личностной тревожности Ч. Спилбергера, опросник уровня субъективного контроля Е. Ф. Бажина, разработанного на основе шкалы локуса контроля Дж. Роттера, тест Мюнстерберга, корректурная проба Бурдона), специальные физические упражнения для оценки сенсомоторных характеристик (быстроты действий, устойчивости вестибулярных реакций). **Результаты.** Установлены существующие тенденции относительно уровня развития у студентов: ситуативной и личностной тревожности, уровня субъективного контроля, избирательности внимания, концентрации и устойчивости внимания, быстроты в действиях, устойчивости вестибулярных реакций. **Научная новизна.** Новаторство в исследовании состоит в выявлении уровня развития у студентов-железнодорожников ряда показателей психологической и психофизической подготовленности к профессиональному труду. **Практическая значимость.** Данные, полученные в процессе исследования, дают представление о существующих реалиях относительно психологической и психофизической готовности студентов-железнодорожников к профессиональному труду. Это является основанием для организации целенаправленной работы по формированию у студентов психологической и психофизической подготовленности в процессе учебных занятий.

Ключевые слова: психологическая и психофизическая подготовка; тревожность личности; уровень субъективного контроля; внимание; быстрота в действиях; устойчивость вестибулярных реакций

V. V. PICHURIN^{1*}

^{1*}Dep. «Physical Education», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 64, e-mail valeriypitchurin@gmail.com, ORCID 0000-0002-3893-375x

LEVEL OF PSYCHOLOGICAL AND PSYCHOPHYSICAL READINESS OF STUDENTS FOR PROFESSIONAL LABOR ON RAILWAY

Purpose. Railway transport specialties make high demands to the development of number of characteristics in psychological and psycho-physical spheres of the specialist person. For the purposeful work organization on effective forming of these spheres the students should have clear information about the existing trends. It is necessary to determine these trends. **Methodology.** Techniques of psychological diagnosis are used in the research. Namely: rating scale of the level of situational and personal anxiety (Ch. Spilberger); the questionnaire of subjective control level (Ye. F. Bazhin), developed on the basis of Dzh. Rotter's locus of control scale; Munsterberg test, Bourdon correction task); special physical exercises to assess the sensorimotor characteristics (action speed, stability of the

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

vestibular reactions). **Findings.** Existing trends concerning the development level of students: situational and personal anxiety, level of subjective control, attention selectiveness, concentration and attention fixation, speed of action, stability of the vestibular reactions were determined. **Originality.** Innovation in the research is the identification in the development level of railway students of some indicators of psychological and psychophysical readiness for professional work. **Practical value.** The data obtained during the research give the idea of the existing realities with regard to psychological and psychophysical readiness of railway students for the professional work. This is the basis for the focused effort organization concerning the formation of students' psychological and psychophysical readiness during training sessions.

Keywords: psychological and psychophysical training; personality anxiety; level of subjective control; attention; action speed; stability of the vestibular reactions

REFERENCES

1. Yegorychev A.O. *Teoriya i tekhnologiya upravleniya psikhofizicheskoy podgotovkoy studentov k professionalnoy deyatel'nosti*. Dokt. Diss. [Management theory and technology of students psychophysical readiness for professional careers. Doct. Diss.]. Yaroslavl, 2005. 317 p.
2. Kabachkov V.A. *Osnovy fizicheskogo vospitaniya s professionalnoy napravlennoy v uchebnykh zavedeniyakh proftekhobrazovaniya*. Dokt. Diss. [Fundamentals of physical education with professional orientation of technical and vocational education at schools. Doct. Diss.]. Moscow, 1996. 63 p.
3. Koleda V.A. *Teoretiko-metodicheskiye osnovy formirovaniya professionalno-lichnostnykh kachestv studentov v protsesse fizicheskogo vospitaniya*. Dokt. Diss. [Theoretical and methodological bases of professional and personal qualities formation of students in physical education. Doct. Diss.]. Minsk, 2001. 33 p.
4. Korolchuk V.M. *Psykholohiia stresostiikosti osobystosti*. Dokt. Diss. [Stress tolerance of a personality. Doct. Diss.]. Kyiv, 2009. 39 p.
5. Marishchuk V.L., Bludov Yu.M., Plakhtiyenko V.A., Serova L.K. *Metodiki psikhodiagnostiki v sporte* [Psychodiagnostic techniques in sport]. Moscow, Prosveshcheniye Publ., 1990. 256 p.
6. Pichurin V.V. *Osnovy orhanizatsii psykholohichnoi i psykhofizichnoi pidhotovky studentiv zaliznychnykh vuziv v protsesi fizychnoho vykhovannia* [Fundamentals of psychological and psycho-physical training of students in railway universities during physical education]. *Naukovyi chasopys NPU im. Drahomanova. Seriya no. 15 : Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoi kultury (fizychna kultura i sport)* [Bulletin of National Pedagogical Drahomanov University. Series no. 15. «Scientific and pedagogical problems of Physical Education (Physical Education and Sport)»], 2012, issue 26, pp. 84-90.
7. Polyanskiy V.P. *Teoretiko-metodicheskiye osnovy sovershenstvovaniya prikladnoy fizicheskoy kultury (yeye sodержaniya i form) v sovremennom obshchestve*. Dokt. Diss. [Theoretical and methodological bases of applied physical training improvement (its content and form) in contemporary society. Doct. Diss.]. Moscow, 1999. 62 p.
8. Rayevskiy R.T. *Professionalno-prikladnaya fizicheskaya podgotovka studentov tekhnicheskogo vuza* [Professionally and applied physical training of students in a technical college]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1985. 168 p.
9. Sadvovskiy V.A. *Formirovaniye dvigatel'noy gotovnosti spetsialistov zheleznodorozhnogo transporta v usloviyakh professionalno orientirovannoy sistemy fizicheskogo vospitaniya*. Avtoreferat Diss. [Formation of motor readiness of railway transport experts in conditions of professionally-oriented system of physical education. Author's abstract]. Ulan-Ude, 2012. 49 p.
10. Skotnikova I.G. Problema uverenosti: istoriya i sovremennoye sostoyaniye [Confidence problem: history and current status]. *Psikhologicheskiy zhurnal – Psychological Journal*, 2002, vol. 23, no. 1, pp. 52-60.
11. Khanin Yu.L., Bulanova G.V. Upravleniye emotsionalnym sostoyaniyem studentov sredstvami fizicheskogo vospitaniya [Emotional state management of students by means of physical education]. *Stress i trevoga v sporte* [Stress and anxiety in sport]. Moscow, FiS Publ., 1983. pp. 261-267.
12. Harré R. Emotions as cognitive-affective-somatic hybrids. *Emotion Review*, 2009, no. 1 (4), pp. 294-301. doi: 10.1177/1754073909338304.
13. Izard C.E. Emotion theory and research: Highlights, unanswered questions, and emerging issues. *Annual Review of Psychology*, 2009, no. 60 (1), pp. 1-25. doi: 10.1146/annurev.psych.60.110707.163539.
14. Scherer K.R. What are emotions? And how can they be measured? *Social Science Information*, 2005, no. 44 (4), pp. 695-729.

Стаття рекомендована до публікації к.пед.н., доц. О. М. Доценко (Україна); д.н. з фізичного виховання і спорту, проф. Н. В. Москаленком (Україна)

Надійшла до редколегії 28.04.2014

Прийнята до друку 19.06.2014

ЗМІСТ

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

С. Ю. БУРЯК, В. І. ГАВРИЛЮК, О. О. ГОЛОЛОВА, А. М. БЕЗНАРИТНИЙ
ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК СТРІЛОЧНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ7

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

М. М. БІЛЯЄВ, Н. В. РОСТОЧИЛО, Ф. В. НЕДОПЬОКІН
МОДЕЛЮВАННЯ ЛОКАЛЬНОГО ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ (SHELTER-IN-PLACE) ІЗ УРАХУВАННЯМ
СОРЕБЦІ НЕБЕЗПЕЧНОЇ РЕЧОВИНИ НА ПОВЕРХНЯХ УСЕРЕДИНИ ПРИМІЩЕНЬ23

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

В. Д. ЗЕЛКМАН, Ю. А. СОНІНА
НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛІКУ ТА ВНУТРІШНЬОГО АУДИТУ ДЕБІТОРСЬКОЇ
ЗАБОРГОВАНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ37

Л. В. МАРЦЕНЮК, Ю. М. ПРОСКУРНЯ, Т. В. ТЕСЛЕНКО
МЕХАНІЗМ СТВОРЕННЯ ПРОЕКТУ З ВІДКРИТТЯ ФЕРМИ В КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ
СІЛЬСЬКОГО ТУРИЗМУ43

О. І. ХАРЧЕНКО
ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ
ПІДРОЗДІЛІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ З ПОЗИЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ52

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

М. І. КАПЦА, Т. С. ГРИШЕЧКІНА
МОДЕЛЬ РАЦІОНАЛЬНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЕПО
ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА60

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

А. М. АФАНАСОВ
ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ВЗАЄМНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТЯГОВИХ
ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ МАГІСТРАЛЬНОГО ТА ПРОМИСЛОВОГО ТРАНСПОРТУ67

О. О. МАТУСЕВИЧ
СУЧАСНІ ПІДХОДИ З ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ОБЛАДНАННЯ
ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ НА ОСНОВІ SMART-ТЕХНОЛОГІЙ75

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

І. О. ВАКУЛЕНКО, С. О. ПЛІТЧЕНКО, Д. М. МАКАРЕВИЧ
ВПЛИВ ХІМІЧНИХ СПОЛУК НА ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО РОЗРЯДУ86

В. О. САВЧЕНКО
ТЕРМОСТІЙКІСТЬ ГРАФІТИЗОВАНОЇ СТАЛІ95

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

А. М. ОКОРОКОВ
СТРАТЕГІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМ ВАНТАЖНИМ КОМПЛЕКСОМ101

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

В. О. ГАБРИНЕЦЬ, І. В. ТИТАРЕНКО
КОНЦЕПЦІЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗА ЕНЕРГОВИТРАТАМИ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА
З ВИКОРИСТАННЯМ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ111

О. С. КРАШЕНІНІН, В. А. ГОГАСЬВ
НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ119

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

В. Д. ПЕТРЕНКО, В. Т. ГУЗЧЕНКО, О. Л. ТЮТЬКІН, Д. В. ТЮТЬКІН
АНАЛІЗ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ ПЕРЕГІННИХ ТУНЕЛІВ КИЇВСЬКОГО
МЕТРОПОЛІТЕНУ НА ДІЛЬНИЦІ ПЕРЕХОДУ ВІД СПОНДИЛОВИХ ГЛИН ДО БУЧАЦЬКИХ ПІСКІВ127

А. В. РАДКЕВИЧ, А. М. НЕТЕСА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ АРМАТУРИ	139
---	-----

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

В. В. ПІЧУРІН РІВЕНЬ РОЗВИТКУ ПСИХОЛОГІЧНОЇ І ПСИХОФІЗИЧНОЇ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СТУДЕНТІВ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ПРАЦІ НА ЗАЛІЗНИЦІ	148
--	-----

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

С. Ю. БУРЯК, В. И. ГАВРИЛЮК, О. А. ГОЛОЛОБОВА, А. М. БЕЗНАРЫТНЫЙ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	7
--	---

ЭКОЛОГИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Н. Н. БЕЛЯЕВ, Н. В. РОСТОЧИЛО, Ф. В. НЕДОПЁКИН МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ (SHELTER IN-PLACE) С УЧЕТОМ СОРБЦИИ ОПАСНОГО ВЕЩЕСТВА НА ПОВЕРХНОСТЯХ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ	23
--	----

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

В. Д. ЗЕЛИКМАН, Ю. А. СОНИНА ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УЧЕТА И ВНУТРЕННЕГО АУДИТА ДЕБИТОРСКОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ	37
Л. В. МАРЦЕНЮК, Ю. Н. ПРОСКУРНЯ, Т. В. ТЕСЛЕНКО МЕХАНИЗМ СОЗДАНИЯ ПРОЕКТА ПО ОТКРЫТИЮ ФЕРМЫ В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ТУРИЗМА	43
О. И. ХАРЧЕНКО ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА С ПОЗИЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ	52

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

М. И. КАПИЦА, Т. С. ГРИШЕЧКИНА МОДЕЛЬ РАЦИОНАЛЬНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЕПО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	60
--	----

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

А. М. АФАНАСОВ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ВЗАИМНОГО НАГРУЖЕНИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА МАГИСТРАЛЬНОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА	67
А. А. МАТУСЕВИЧ СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ SMART-ТЕХНОЛОГИЙ	75

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

И. А. ВАКУЛЕНКО, С. А. ПЛИТЧЕНКО, Д. Н. МАКАРЕВИЧ ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО РАЗРЯДА	86
В. А. САВЧЕНКО ТЕРМОСТОЙКОСТЬ ГРАФИТИЗИРОВАННОЙ СТАЛИ	95

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТА И ЭКОНОМИКИ

А. М. ОКороков СТРАТЕГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМ ГРУЗОВЫМ КОМПЛЕКСОМ	101
---	-----

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

В. А. ГАБРИНЕЦ, И. В. ТИТАРЕНКО КОНЦЕПЦИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПО ЭНЕРГОЗАТРАТАМ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ	111
О. С. КРАШЕНИНИН, В. А. ГОГАЕВ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ СОДЕРЖАНИЯ МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	119

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

В. Д. ПЕТРЕНКО, В. Т. ГУЗЧЕНКО, А. Л. ТЮТЬКИН, Д. В. ТЮТЬКИН

АНАЛИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПЕРЕГОННЫХ ТОННЕЛЕЙ

КИЕВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА НА УЧАСТКЕ ПЕРЕХОДА ОТ СПОНДИЛОВЫХ ГЛИН

К БУЧАЦКИМ ПЕСКАМ 127

А. В. РАДКЕВИЧ, А. Н. НЕТЕСА

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ АРМАТУРЫ 139

РАЗВИТИЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

В. В. ПИЧУРИН

УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ И ПСИХОФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ

СТУДЕНТОВ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ТРУДУ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ 148

CONTENTS

TRANSPORT AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

S. YU. BURYAK, V. I. GAVRILYUK, O. O. HOLOLOBOVA, A. M. BEZNARYTNYI DIAGNOSTIC FEATURES RESEARCH OF AC ELECTRIC POINT MOTORS	7
--	---

TRANSPORT ECOLOGY

N. N. BELYAYEV, N. V. ROSTOCHILO, F. V. NEDOPEKIN MODELING OF THE BUILDING LOCAL PROTECTION (SHELTER – IN PLACE) INCLUDING SORPTION OF THE HAZARDOUS CONTAMINANT ON INDOOR SURFACES	23
--	----

ECONOMICS AND MANAGEMENT

V. D. ZELIKMAN, YU. A. SONINA IMPROVEMENT WAYS OF ACCOUNTING AND INTERNAL AUDIT OF ENTERPRISE RECEIVABLES	37
---	----

L. V. MARTSENYUK, YU. M. PROSKURNIA, T. V. TESLENKO CREATION MECHANISM OF THE PROJECT ON FARM OPENING IN THE CONTEXT OF RURAL TOURISM DEVELOPMENT	43
--	----

O. I. KHARCHENKO RESEARCH OF APPROACHES TO INCREASE THE EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF RAILWAY TRANSPORT SUBDIVISIONS FROM THE POINT OF VIEW OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT	52
--	----

OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS

M. I. KAPITSA, T. S. HRYSHECHKINA RATIONAL RECOVERY MODEL OF DEPOT PROCESSING EQUIPMENT AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISE.....	60
--	----

ELECTRIC TRANSPORT

A. M. AFANASOV RATIONAL MODES DETERMINATION OF TRACTION MOTORS LOADING-BACK FOR ELECTRIC ROLLING STOCK IN MAINLINE AND INDUSTRIAL TRANSPORT.....	67
---	----

O. O. MATUSEVICH NEW APPROACHES TO MAINTENANCE AND REPAIRING OF THE TRACTION SUBSTATIONS EQUIPMENT ON ELECTRIFIED RAILWAYS ON THE BASIS OF SMART-TECHNOLOGIES.....	75
---	----

MATERIAL SCIENCE

I. A. VAKULENKO, S. A. PLITCHENKO, D. M. MAKAREVYCH INFLUENCE OF CHEMICAL COMPOUNDS ON THE FORMING OF ELECTRIC ARC.....	86
---	----

V. O. SAVCHENKO HEAT RESISTANCE OF GRAPHITIZED STEEL	95
--	----

TRANSPORT AND ECONOMIC TASKS MODELING

A. M. OKOROKOV STRATEGIC MANAGEMENT OF TRANSPORT CARGO COMPLEX.....	101
---	-----

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

V. A. GABRINETS, I. V. TYTARENKO CONCEPT OF THE MINIMUM ENERGY PASSENGER CAR WITH USE OF UNCONVENTIONAL ENERGY SOURCES.....	111
--	-----

O. S. KRASHENININ, V. A. GOGAIEV IMPROVEMENT DIRECTIONS OF MAINTENANCE SYSTEM OF MULTIPLE UNIT.....	119
---	-----

TRANSPORT CONSTRUCTION

V. D. PETRENKO, V. T. HUZCHENKO, O. L. TIUTKIN, D. V. TIUTKIN ANALYSIS OF DEFORMED STATE STRUCTURES OF THE KYIV METRO RUNNING TUNNELS ON A TRANSITION ZONE FROM SPONDYLOV'S CLAY TO BUCHATSKIY SANDS.....	127
--	-----

A. V. RADKEYCH, A. N. NETESA
APPLICATION PROSPECTS OF THREADED JOINT OF ARMATURE..... 139

HIGH SCHOOL DEVELOPMENT

V. V. PICHURIN
LEVEL OF PSYCHOLOGICAL AND PSYCHOPHYSICAL READINESS OF STUDENTS
FOR PROFESSIONAL LABOR ON RAILWAY 148

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! Згідно з міжнародними стандартами якості наукових публікацій необхідним є наявність авторських розширених і структурованих резюме (рефератів – abstracts), у т.ч. англійською мовою, рецензій, пристатейних списків літератури в романському алфавіті тощо.

Рекомендуємо скористатися правилами до оформлення статей журналу:
<http://library.diiit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/Vumogu.pdf>.

Для здачі статті до друку автору/авторам необхідно:

1. Для електронної інформації сформувати всі матеріали в п'яти файлах:

- **Перший** – із текстом статті та анотацій з ключовими словами. Назва файлу – прізвище та ініціали автора (першого співавтора) латинськими літерами, наприклад: Ivanov_II_stattia.doc.
- **Другий** – з розширеними відомостями про автора/авторів (прізвище, ім'я, по батькові; посада; науковий ступінь; учене звання; місце роботи або навчання; адреса електронної пошти; номери контактних телефонів). Назва файлу – Ivanov_II_vidomosti.doc.
- **Третій** – рецензія (відсканована). Назва файлу – Ivanov_II_recenziia.jpg.
- **Четвертий** – Експертний висновок (відсканований, складається у вільній формі). Назва файлу – Ivanov_II_vysnovok.jpg.
- **П'ятий** – Ліцензійний договір (відсканований). Назва файлу – Ivanov_II_dogovor.jpg. Текст договору: <http://library.diiit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/license.doc>.

2. Для друкованої інформації. До редакції надаються особисто або надсилаються поштою такі матеріали: 1) два друкованих примірники рукопису з підписами всіх співавторів на останньому аркуші роботи; 2) оригінал Ліцензійного договору з підписами всіх співавторів; 3) оригінал експертного висновку; 4) рекомендація до друку за підписом відповідального редактора розділу (для співробітників ДНУЗТ).

Відповідальність за зміст статті, правильність, точність і коректність цитування, посилань та перекладу покладається на авторів.

Остаточне рішення щодо публікації ухвалює редакційна колегія журналу.

Статті, відхилені редакційною колегією, повертаються авторам для доопрацювання.

Шановні автори, запрошуємо до співробітництва!

З питань опублікування звертайтеся до редакції журналу за адресою:

Науково-технічна бібліотека (ауд. 166),
 Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
 вул. Лазаряна, 2,
 м. Дніпропетровськ,
 Україна,
 49010
 e-mail: visnik@diiit.edu.ua
 Адреса сайту журналу: <http://stp.diiit.edu.ua/>

З питань придбання примірників журналу телефонуйте за номером (056) 776 90 59 Грідасова А. В.



Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна веде підготовку докторантів та аспірантів за рахунок коштів Державного бюджету України – за державним замовленням – за такими спеціальностями:

ДОКТОРАНТУРА

№	Спеціальність	Шифр
1	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
2	Управління проектами і програмами	05.13.22
3	Залізнична колія	05.22.06
4	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
5	Електротранспорт	05.22.09
6	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
7	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
8	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05

На підставі угод, що укладаються з докторантом і керівником вищого навчального закладу, до докторантури приймаються громадяни України, кандидати наук, що мають наукові досягнення в обраній галузі.

Строк навчання 3 роки.

Вступники до докторантури подають:

- заяву на ім'я ректора,
- копію першої сторінки паспорта,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку з бухгалтерії про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу із зазначенням одержаної кваліфікації спеціаліста,
- копію диплома кандидата наук,
- копію атестата доцента, с.н.с. за їх наявності,
- розгорнутий план докторської дисертації,
- список опублікованих наукових праць та винаходів,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3x4.

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**

№ 4 (52) 2014

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – А. І. Миргородська
Комп'ютерне верстання – Ю. С. Марков
Літературна обробка – О. М. Врублевська

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 21,39. Тираж 300 пр. Зам. № 969.

**Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Адреса редакції, видавця:

вул. Лазаряна, 2, кім. 267, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diiit.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)**

№ 4 (52) 2014

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – А. И. Миргородская
Компьютерная верстка – Ю. С. Марков
Литературная обработка – О. М. Врублевская

Формат 60×84¹/₈. Ус. печат. лист. 21,39. Тираж 300 экз. Зак. № 969.

**Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна**

Адрес редакции, издателя:

ул. Лазаряна, 2, ком. 267, г. Днепропетровск, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diiit.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. VISNIK DNIPROPETROVS'KOGO NACIONAL'NOGO
UNIVERSITETU ZALIZNICHNOGO TRANSPORTU**

**(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS. BULLETIN OF DNIPROPETROVSK NATIONAL
UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT NAMED AFTER ACADEMICIAN V. LAZARYAN)**

No. 4 (52) 2014

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – А. І. Myrhorodska
Computer makeup – Yu. S. Markov
Redaction – О. М. Vrublevska

Format 60×84¹/₈. Conventional printed sheet 21,39. Circulation 300. Order no. 969.

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

Address of editor and editorial office

Lazaryan St., 2, r. 267, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Tel.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diiit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Address of small offset printing office

Lazaryan St., 2, r. 1201, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Tel.: +38 (056) 47-19-66. *Fax:* +38 (056) 47-19-83



СУЧАСНІ ЗАКЛАДИ ОСВІТИ - 2014
П'ята Міжнародна Виставка

CERTIFICATE

ЯКОСТІ НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ
УДОСТОЄНИЙ

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна



Міністр
Міністерство освіти і науки України

С. Квіт

Підстава:
показники наукометричної
бази даних Scopus
за 2013 рік



Президент
Національна академія
педагогічних наук України



Україна, м. Київ

В. Кремень

Асоціація користувачів
Української науково-освітньої
телекомунікаційної мережі «Уран»



Голова Ради
Ю. Якименко

Передплатний індекс – 68926
Подписной индекс – 68926
Subscription index – 68926



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

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2014. 4(52). 1-165