



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



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

6(66)

•• 2016 ••

*Есть в движенье сладость и тревога.
Станция, внезапный поворот.
Жизнь моя — железная дорога,
Вечное стремление вперед.*

Маргарита Алигер, 1938 г.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Науковий журнал

№ 6 (66) 2016

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

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

Дніпро

2016

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

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

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

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ (УКРАЇНА):

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

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Анісімов П. С. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Бялонь А. (Інститут залізничного транспорту, Варшава, Республіка Польща); Вайчунас Г. (Вільнюський технічний університет ім. Гедімінаса, Литва); Васяк І. (Інститут електроенергетики Лодзинської політехніки, Республіка Польща); Гусєв Б. В. (Московський державний університет шляхів сполучення, Російська Федерація); Долежел І. (Університет Західної Богемії, Чеська Республіка); Зіммер К. (Інститут Електротехніки Варшавської політехніки, Республіка Польща); Куанишев Б. М. (Казахська академія транспорту і комунікацій, Республіка Казахстан); Лінгайтис В. Л. (Вільнюський технічний університет ім. Гедімінаса, Литва); Манашкін Л. А. («ALGAE ENERGY SOLUTION, LLC», США); Сладковські А. (Сілезька політехніка, Республіка Польща); Стржеелецькі Р. (Гданська морська академія, Республіка Польща); Тітова Т. С. (Петербурзький державний університет шляхів сполучення Імператора Олександра І, Російська Федерація); Худзікевич А. (Варшавський політехнічний університет, Республіка Польща); Шепонг Адам (Варшавський політехнічний університет, Республіка Польща).

Журнал зареєстровано Державною реєстраційною службою Міністерства юстиції України. Свідоцтво про реєстрацію КВ № 19609-9409ПР від 29.12.2012 р.
Видання внесено до Переліку наукових фахових видань України наказом Міністерства освіти і науки України 29.12.2014 р. № 1528 (технічні науки).
Журнал зареєстровано: в міжнародних каталогах періодичних видань Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; наукометричних системах Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.
Друкується за рішенням вченої ради університету від 26.12.2016 р., протокол № 5

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

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

Видання публікується з 1936 р.:

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

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА

ВЕСТНИК ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА

Научный журнал

№ 6 (66) 2016

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

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

Днепро

2016

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

*ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО
СОВЕТА УНИВЕРСИТЕТА*

Пшинько А. Н., доктор технических наук

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА

Мямлин С. В., доктор технических наук

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Козаченко Д. Н., доктор технических наук

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Колесникова Т. А., кандидат наук
по социальным коммуникациям

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ (УКРАИНА):

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

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

Журнал
зарегистрирован Государственной регистрационной службой Министерства юстиции Украины.
Свидетельство о регистрации КВ № 19609-9409ПР от 29.12.2012 г.
Издание внесено в Перечень научных специализированных изданий Украины приказом Министерства образования и науки Украины 29.12.2014 г. № 1528 (технические науки).
Журнал зарегистрирован: в международных каталогах периодических изданий Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; наукометрических системах Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.
Печатается по решению ученого совета университета от 26.12.2016 г., протокол № 5

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

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

Издание публикуется с 1936 г.:

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

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

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

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

Scientific journal

No. 6 (66) 2016

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

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

Dnipro

2016

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

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

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

EDITORIAL BOARD MEMBERS (UKRAINE):

Afanasov A. M., Bannikov D. O., Barash Yu. S., Biliaiev M. M., Bobrovskiy V. I., Bobyr D. V., Bodnar B. J., Bosov A. A., Crivchick G. G., Dotsenko O. M., Dudkina V. V., Eitutis H. D., Gabrync V. A., Gavrilyuk V. I., Getman G. K., Glavatskiy K. Ts., Hnennyi O. M., Golovkova L. S., Goncharov K. V., Gorobets V. L., Kapitsa M. I., Kazakevich M. I., Kopytko V. I., Kostin M. O., Krasnyuk A. V., Kravets V. V., Kurgan M. B., Kuznetsov V. G., Mukha A. M., Mukhina N. A., Nastechik N. P., Netesa N. I., Ochkasov O. B., Okovytyy S. I., Petrenko V. D., Pichugov S. O., Pichurin V. V., Polishko T. V., Radchenko N. A., Radkevych A. V., Raksha S. V., Shtapenko E. P., Skalozub V. V., Snizhko L. O., Ursulyak L. V., Vakulenko I. O., Vlasova T. I., Volkova V. Ye., Yarishkina L. O., Zabludovskiy V. O., Zhukovytsky I. V.

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

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

Journal was registered by the State Registration Service of the Ministry of Justice of Ukraine.
 Certificate of Registration KB no.19609-9409PR from 29.12.2012
 Edition is included in the list of scientific professional publications of Ukraine by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine 29.12.2014 r. no. 1528 (technical sciences).
 Journal is registered: in the International Catalogue of periodicals Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; research and metric systems Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.
 Published according to the Academic Council decision of the University from 26.12.2016, Protocol no. 5

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

Address of Founder St. Lazaryana, 2, room 267, Dnipro, Ukraine, 49010, tel.: +38 (056) 371-51-05;
 e-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua; journal site: <http://stp.diit.edu.ua/>

Edition is being published since 1936:

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

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 656.25:621.318-047.38

В. И. ГАВРИЛЮК^{1*}

^{1*}Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта vl.havryliuk@gmail.com, ORCID 0000-0001-9954-4478

КОНТРОЛЬ МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕЙТРАЛЬНОГО РЕЛЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

Цель. Научная работа предусматривает разработку метода контроля механических параметров нейтрального реле железнодорожной автоматики путем анализа токов в обмотке и контактах реле при его переключениях на основе вейвлет-преобразования. **Методика.** В основу методики положен анализ токов в обмотке и контактах реле при его переключениях на примере дискретного вейвлет-преобразования (ДВП). **Результаты.** Измерены и проанализированы временные зависимости токов в обмотке и контактах при включении и выключении реле (находящихся в исправном состоянии и с дефектами), полученные при различных напряжениях на катушке (10, 12 и 14 В). При увеличении напряжения, подаваемого на обмотку реле, скорость нарастания тока в обмотке заметно увеличивалась, но постоянная времени цепи изменялась незначительно. Максимальные значения тока, при которых якорь начинал движение для исправных реле, мало зависели от приложенного напряжения. Для участка зависимости, при которой якорь полностью притянут, постоянная времени нарастания тока также мало зависела от приложенного напряжения. Аналогичные результаты получены для постоянной времени уменьшения тока при выключении напряжения и при удержании якоря. Ток трогания и ток отпускания якоря увеличивались для реле с грузом на якоре пропорционально весу груза, а также для реле с тыловым контактом, изогнутом вниз, в то время как при изгибе тылового контакта вверх эти токи имели меньшие значения. Крупномасштабные (низкочастотные) коэффициенты ДВП могут быть использованы для более точного сопоставления токов трогания, отпускания и постоянных времени переходных процессов. Коэффициенты малого масштаба ДВП (высокочастотные) могут быть использованы в качестве отличительных признаков дефектов подвижной системы реле. **Научная новизна.** Впервые, на основе проведенного исследования, предложено использовать детализирующие коэффициенты дискретного вейвлет-преобразования в качестве признаков дефектов подвижной системы реле. Аппроксимирующие (сглаживающие) коэффициенты могут быть использованы для более точного сопоставления токов трогания, отпускания и постоянных времени переходных процессов для выявления дефектов электромагнитной системы реле. **Практическая значимость.** Проведенные автором исследования могут быть использованы для разработки автоматизированного стенда контроля технического состояния нейтральных реле железнодорожной автоматики.

Ключевые слова: электромагнитное реле; контроль параметров; вейвлет-преобразование

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Введение

Несмотря на наблюдаемый в последние десятилетия значительный прогресс в разработке микроэлектронных и компьютерных систем железнодорожной автоматики, применение релейно-контактной аппаратуры в устройствах сигнализации и связи остается достаточно широким. Этим объясняется интерес к исследованию электромеханических процессов, протекающих в реле при его переключениях [1–6, 11–13, 16, 17].

Для обеспечения необходимого уровня надежности и безопасности функционирования релейных систем автоматики, основные параметры электрических реле необходимо периодически контролировать [1–2, 4, 5]. Этот процесс выполняют вручную, что требует значительных затрат времени и не обеспечивает необходимой точности. Описанные в литературе устройства для автоматизации контроля параметров реле не нашли широкого практического применения из-за ограниченности их функциональных возможностей, в частности, из-за невозможности автоматизированного контроля механических параметров реле. Наиболее перспективным представляется метод, основанный на анализе осциллограмм тока через обмотку реле при его включении и выключении [7]. Однако низкая разрешающая способность этого метода не позволяла выявлять характерные диагностические признаки механических дефектов реле на начальной стадии их возникновения [4, 5]. Способ автоматизации контроля параметров нейтральных реле железнодорожной автоматики, основанный на сопоставлении результатов математического моделирования электромеханических процессов, протекающих в реле при его включении и выключении, с результатами измерений токов, протекающих через обмотку и контакты реле в исправном состоянии и с определенными механическими дефектами, предложен в [4]. Метод позволил выявить временные и механические дефекты, связанные с нарушением регулировки подвижной системы реле, в частности, – неодновременность замыкания и размыкания контактов различных групп, дребезг контактов. Однако результаты контроля механических параметров реле были недостаточно точными. Причиной этого является использование полу-

эмпирических выражений для описания магнитного сопротивления воздушного зазора, антимангнитного штифта между якорем и сердечником, магнитных потоков в сердечнике, потоков рассеяния, вихревых токов в стали [3, 8]. Эти параметры зависят от величины воздушного зазора δ , скорости перемещения якоря и т.д. Суммарная погрешность при использовании этих формул может достигать 20–30 %, что неприемлемо для практического использования [3, 8].

Для выявления механических дефектов электромагнитного реле перспективным представляется метод, основанный на анализе временных зависимостей токов через обмотку и контакты реле при его переключениях с применением аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС) [6, 11]. Для обучения ИНС требуется использование большого количества токовых характеристик для реле, отрегулированного в соответствии с технологическими требованиями и реле с определенными заранее заданными механическими дефектами. Это также затрудняет практическое применение метода. Сокращение времени обучения ИНС возможно на основе предварительной обработки экспериментальных данных. Учитывая незначительные локальные изменения во временных зависимостях токов в обмотке и контактах реле, появляющиеся при возникновении механических дефектов, перспективным для предварительной обработки результатов измерений является метод вейвлет-анализа сигналов [9, 10, 14, 15].

Цель

Целью работы является разработка метода контроля механических параметров нейтрального реле железнодорожной автоматики путем анализа токов в обмотке и контактах реле при его переключениях на основе вейвлет-преобразования.

Для достижения поставленной цели необходимо выявить характерные признаки дефектов реле, проявляющиеся в вейвлет-спектрограммах.

Методика

В основу методики положен анализ токов в обмотке и контактах реле при его переключениях. Типичная временная зависимость тока

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

в обмотке реле при включении ее на постоянное напряжение U_1 в момент времени $t=0$ и выключении в момент времени t_3 путем отсоединения обмотки от источника питания и замыкания накоротко [4–6] приведена на рис. 1. После подачи на обмотку реле напряжения ток в обмотке, вследствие индуктивного характера ее сопротивления, нарастает по закону, близкому к экспоненциальному, что приводит к увеличению магнитного потока в сердечнике и магнитопроводе реле и, соответственно, к увеличению силы притяжения якоря. При токе i_1 сила магнитного притяжения f_m превысит механическую силу противодействия движению якоря f_c и якорь начнет перемещаться. При этом зазор между якорем и сердечником будет уменьшаться от $\delta = \delta_0$ до $\delta = \delta_s$, где δ_s – высота антимагнитного штифта. В процессе движения якоря силы f_m и f_c изменяются, и полное притяжение якоря возможно при условии $f_m > f_c$ для всех значений δ . В момент времени t_2 якорь полностью притянется и ток в обмотке реле продолжит увеличиваться по закону, близкому к экспоненциальному, но с другой постоянной времени процесса. В момент времени t_3 напряжение на обмотке выключается и обмотка замыкается накоротко.

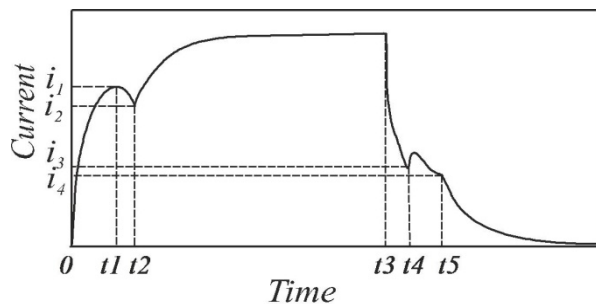


Рис. 1. Временная зависимость тока через обмотку реле при включении и выключении напряжения

Fig.1. Time dependence of the current in relay coil under voltage set-on and set-off

Ток в обмотке уменьшается в интервале $t_3..t_4$ по закону, близкому к экспоненциальному. В момент времени t_4 сила магнитного притяжения якоря уменьшается до значения силы, стремящейся вернуть якорь в исходное положение (обусловленной весом якоря и упруго-

стью пружин), и якорь начнет двигаться (интервал $t_4..t_5$). В момент времени t_5 якорь займет первоначальное положение ($\delta = \delta_0$).

При включении реле происходит размыкание тыловых (нормально замкнутых) контактов и замыкание фронтальных (нормально разомкнутых), а при выключении, соответственно, процесс протекает в обратном направлении.

При переключении контактов возникают упругие силы изгиба контактных пластин и контактных пружин, что также находит свое отражение на временных зависимостях тока в обмотке катушки (рис. 1).

Типы и параметры нейтральных реле железнодорожной автоматики, для которых проведены исследования, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Типы и параметры реле

Table 1

Relay type and parameters

Номер реле	Тип реле	R_{nom} , Ом	U_a , В	U_r , В
R1	НМШ1-500	500	7,3	2,4
R2	НМШ1-500	500	7,3	2,4
R3	НМШ1-2000	2000	16	6-9
R4	НМШ2-900	900	7,5	2,3
R5	НМШ1-500	500	7,3	2,4
R6	НМШ2-1000	1000	7,5	2,3
R8	НМШ2-900	900	7,5	2,3
R9	НМШ4-720	720	7,5	2,3
R10	НМШ4-600	600	7,5	2,3

В таблице приведены следующие параметры: R_{nom} – номинальное сопротивление обмотки реле; U_a – напряжение полного притяжения якоря; U_r – напряжение отпускания якоря.

Для каждого реле проведены измерения при различных значениях напряжения, подаваемого на обмотку в исправном отрегулированном состоянии, а также после внесения ряда механических дефектов путем закрепления на якоре определенного груза, закладки тонкой пластины между контактами, изгиба контактных пла-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

стин и контактных пружин или путем полного изъятия контактных групп.

При регистрации тока фронтовые и тыловые контакты замыкали между собой, в результате чего ток через них прерывался только при перелете между контактами.

Для записи тока в обмотке и контактах реле последовательно с ними в цепь включали резисторы с определенным сопротивлением, напряжение с которых (пропорциональное силе тока) подавали на вход многоканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Запись сигнала проводили на компьютер, подключенный к выходу АЦП через USB порт.

Напряжение подавали от стабилизированного источника, при выключении напряжения обмотку отключали от источника и замыкали ее выводы накоротко.

Для выявления характерных признаков дефектов реле записанные токи анализировали с помощью вейвлет-преобразования, для реализации которого использовали WaveletToolbox математического пакета MatLab.

Вейвлет-преобразование. Вейвлет-преобразование позволяет представить непериодический сигнал в частотной и временной области и исследовать каждый компонент разложения с учетом частотной и временной локализации [9, 10, 14, 15].

Различают два типа вейвлет-преобразования – непрерывное (НВП) и дискретное (ДВП). НВП характеризуют как избыточное и обычно используют для анализа сигналов и выделения его характерных особенностей, в то время как ДВП более адекватно в случае необходимости уменьшения данных. Основные положения вейвлет-преобразования изложены во множестве публикаций [9,10,14,15].

НВП сигнала $f(t)$ с конечной энергией, принадлежащего к $L^2(R)$ векторному пространству, определяют как

$$CWT_{\Psi} f(a,b) = \left\langle f(t), \Psi_{a,b}(t) \right\rangle := \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{a,b}^*(t) dt,$$

где $\Psi_{ab}(t)$ – функция, образованная изменением масштаба и смещением по времени функции $\Psi(t)$, называемой «материнским вейвлетом»

$$\Psi_{a,b}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt,$$

где $a, b \in R, a \neq 0$ – масштабный коэффициент и смещение соответственно. Множитель $|a|^{-\frac{1}{2}}$ используют для нормирования энергии при различных масштабах, знак (*) обозначает комплексное сопряжение.

Исходный сигнал может быть восстановлен на основе инверсного НВП

$$f(t) = \frac{1}{C_{\Psi}} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (CWT_{\Psi} f_{a,b}(t)) \Psi_{a,b}(t) \frac{1}{a^2} da db,$$

где коэффициенты C_{Ψ} определяются в виде

$$C_{\Psi} = \int_0^{\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega,$$

а $\hat{\Psi}(\omega)$ – Фурье-преобразование от материнского вейвлета.

ДВП сигнала определяется путем дискретизации коэффициентов масштабирования и смещения материнского вейвлета

$$a = a_0^m \text{ и } b = nb_0 a_0^m,$$

где a_0 и b_0 – значения, удовлетворяющие условиям $a_0 > 1, b_0 > 0; m, n \in Z; Z$ – ряд положительных чисел. При этом материнский вейвлет принимает вид

$$\Psi_{m,n}(t) = a_0^{-\frac{m}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) dt,$$

а соответствующее дискретное вейвлет-преобразование запишется в виде

$$DWT_{\Psi} f(m,n) = \left\langle f(t), \Psi_{m,n}(t) \right\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{m,n}^*(t) dt.$$

DWT производит разложение сигнала в полосах с шириной, увеличивающейся линейно с частотой. В случае двоичного преобразования ($a_0 = 2$ и $b_0 = 1$), каждая полоса спектра имеет приблизительно ширину в одну октаву.

Исходный сигнал можно получить в виде ряда

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

$$f(t) = \sum_m \sum_n C_{m,n} \Psi_{m,n},$$

где коэффициенты $C_{m,n}$ определяются выражением

$$C_{m,n} = \langle f(t), \tilde{\Psi}_{m,n}(t) \rangle.$$

Основная идея вейвлет-анализа заключается в разложении сигнала в спектры с различным масштабом [14, 15], что позволяет изучить его особенности. Алгоритм состоит из последовательности разложений с длительностью $2n$ в набор двух компонент: детализирующих коэффициентов D_j и аппроксимирующих коэффициентов A_j , имеющих меньший размер, равный $2n-j$, где j – уровень разложения. На каждом уровне входной сигнал разлагают с помощью высокочастотного фильтра в ВЧ компоненты и низкочастотного фильтра в НЧ компоненты, которые используются затем для следующего разложения. Дискретный сигнал, проходя через НЧ и ВЧ фильтры, образует два вектора первого уровня с аппроксимирующими коэффициентами A_1 и детализирующими ко-

эффициентами D_1 . Применение аналогичной фильтрации к коэффициентам A_1 приводит к дальнейшему разложению их в аппроксимирующие A_2 и детализирующие D_2 коэффициенты второго уровня. Аналогично производятся разложения до необходимого уровня. Аппроксимирующее разложение является низкочастотным крупномасштабным, а детализирующее – высокочастотным маломасштабным с высоким разрешением.

Результаты

Результаты измерений и анализа приведены для реле с условным номером R10 (табл. 1). Для других реле результаты измерений в целом соответствовали результатам, полученным для реле R10. Это позволяет распространить полученные в работе выводы на все исследуемые типы нейтральных реле (табл. 1), а также использовать результаты для обучения ИНС.

Временные зависимости токов в обмотке и контактах при включении и выключении реле исправного и с дефектами, измеренные при напряжениях на катушке 10, 12 и 14 В, приведены на рис. 2.

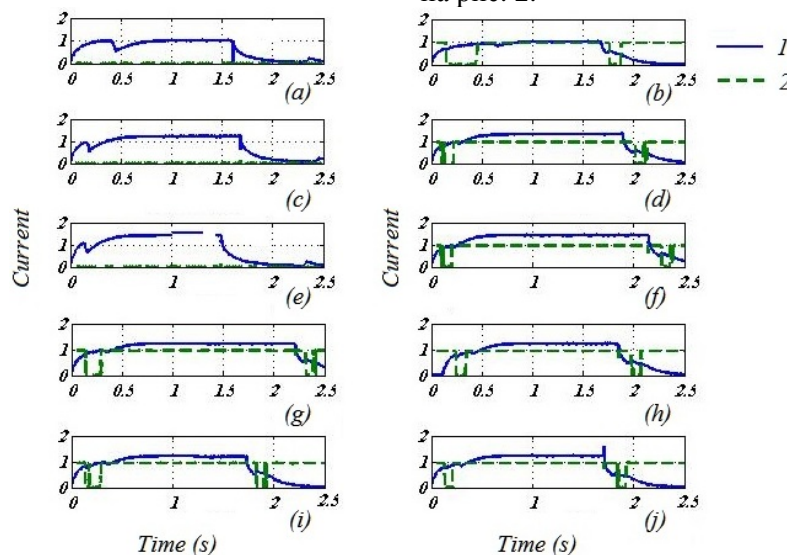


Рис. 2. Временные зависимости тока в обмотке (1) и контактах (2) при включении и выключении реле без контактной группы (а, с, е), с контактной группой (b, d, f), с дополнительным грузом на якоре (g, i), с изогнутым тыловым контактом вверх (h) и вниз (j), измеренные при напряжениях на катушке: 10 В (a, b), 12 В (c, d, g, h, i, j), 14 В (e, f)

Fig. 2. Time dependences of the currents in relay coils (1) and in contacts (2) during relays switching on and off for the relays without contact group (a, c, e), with contact group (b, d, f), with additional weight on armature (g, i), with curved-up back contact (h) with curved-down back contact (j), measured under voltage applied to coils: 10 V (a, b), 12 V (c, d, g, h, i, j), 14 V (e, f)

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Из рисунка видно, что при увеличении напряжения, подаваемого на обмотку реле, скорость нарастания тока в обмотке заметно увеличивалась, но постоянная времени процесса изменялась незначительно. Максимальные значения токов, при которых якорь начинал движение для исправных реле также мало зависели от приложенного напряжения. Это объясняется тем, что сила электромагнитного притяжения пропорциональна магнитному потоку в сердечнике и, соответственно, току в обмотке.

Постоянная времени нарастания тока для участка, при которой якорь полностью притянут ($t_2..t_3$), также мало зависела от приложенного напряжения. Постоянная времени изменения тока при выключении напряжения и ток удержания, измеренные для разных приложенных при включении реле напряжениях, имели близкие значения в пределах погрешности измерений.

Ток трогания и ток отпускания якоря увеличивались для реле с грузом на якоре пропорционально весу груза (рис. 2 (g, i)), а также для реле с тыловым контактом, изогнутом вниз, в то время как для изогнутого контакта вверх эти токи имели меньшие значения.

Таким образом, постоянные времени изменения тока при неподвижном якоре при включении и выключении реле и токи трогания и отпускания якоря могут быть использованы в качестве диагностических признаков исправности электромагнитной системы реле.

По временной зависимости тока в контактах для разных контактных групп можно судить о неоднородности замыкания и размыкания контактов, а также о наличии дребезга контактов (рис. 2).

Второй участок временной зависимости тока (интервал $t_1..t_2$ на рис. 2) соответствует перемещению якоря и подвижных элементов реле. На форму кривой тока на этом участке оказывают влияние силы упругости изгибаемых контактных пластин и контактных пружин, а также сила трения. Поэтому нарушения правильности регулировки подвижных элементов реле приводит к появлению дополнительных особенностей (экстремумов, перегибов) на нем. Однако, эти особенности слабо выражены и для их выявления применено дискретное вейвлет-преобразование.

Временная зависимость коэффициентов ДВП тока в обмотке и контактах реле в исправном состоянии и с изогнутыми контактами вверх и вниз приведена на рис. 3.

Зависимости приведены только для аппроксимирующих коэффициентов (A) и для двух детализирующих коэффициентов с уровнями 7 и 9 ($D7, D9$). Для реле в исправном состоянии и реле с дефектами подвижной системы заметны отличия в величине и положении детализирующих коэффициентов, что позволяет использовать эти коэффициенты в качестве отличительных признаков дефектов подвижной системы реле. Аппроксимирующие коэффициенты могут быть использованы для более точного сопоставления токов трогания, отпускания и постоянных времени переходных процессов при выявлении дефектов электромагнитной системы.

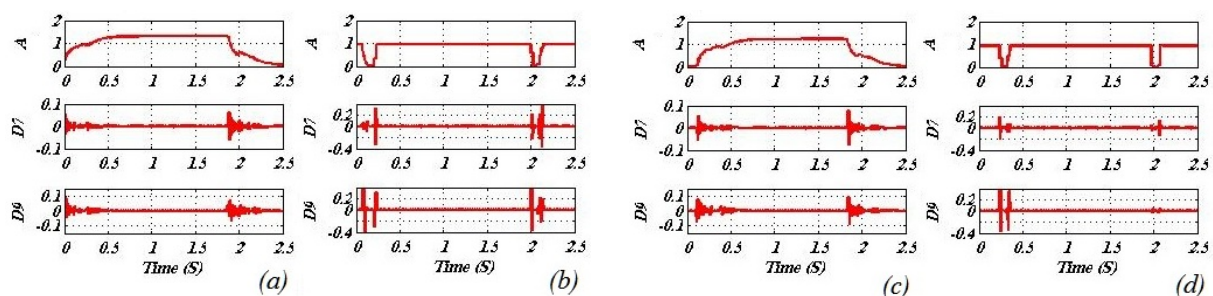


Рис. 3. Временные зависимости коэффициентов ДВП тока в обмотке (а, с) и контактах (b, d) реле в исправном состоянии (а, b) и с изгибами контактов (с, d)

Fig. 3. The time dependences of the coefficients of discrete wavelet transform of the current in relay coil (а, с) and in contacts (b, d) for the operable relay (а, b) and relay with curved contacts (с, d)

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Научная новизна и практическая значимость

Впервые на основе проведенного исследования предложено использовать детализирующие коэффициенты дискретного вейвлет-преобразования токов в обмотке и контактах реле в качестве диагностических признаков дефектов подвижной системы реле. Аппроксимирующие (сглаживающие) коэффициенты могут быть использованы для более точного сопоставления токов трогания, отпускания и постоянных времени переходных процессов для выявления дефектов электромагнитной системы реле.

Проведенные исследования могут быть использованы для разработки автоматизированного стенда контроля технического состояния нейтральных реле железнодорожной автоматики.

Выводы

С целью разработки метода контроля механических параметров нейтрального реле железнодорожной автоматики проведены исследования и анализ временных зависимостей токов в обмотке и контактах реле при его переключениях для исправных реле и реле с заданными дефектами подвижной системы.

Постоянные времени изменения токов при неподвижном якоре при включении и выключении реле и токи трогания и отпускания якоря могут быть выбраны в качестве диагностических признаков электромагнитной системы реле.

Крупномасштабные (низкочастотные) коэффициенты ДВП могут быть использованы для более точного сопоставления токов трогания, отпускания, постоянных времени переходных процессов при выявлении дефектов.

Коэффициенты малого масштаба ДВП (высокочастотные) могут быть использованы в качестве признаков дефектов подвижной системы реле.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бондаренко, Б. М. Автоматизированный комплекс диагностики реле железнодорожной автоматики / Б. М. Бондаренко // Электромагнитна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2012. – № 3. – С. 68–76.
2. Бондаренко, Б. М. Акустичний контроль електромагнітних приладів забезпечення безпеки руху залізничного транспорту / Б. М. Бондаренко // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2013. – № 5. – С. 38–45.
3. Витенберг, М. В. Расчет электромагнитных реле / М. В. Витенберг. – Москва : Энергия, 1975. – 416 с.
4. Гаврилюк, В. И. Автоматизация контроля параметров нейтральных реле железнодорожной автоматики / В. И. Гаврилюк, В. И. Профатилов // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2002. – № 4/5. – С. 83–86.
5. Гаврилюк, В. И. Диагностирование релейно-контактных устройств железнодорожной автоматики / В. И. Гаврилюк, В. Ю. Дуб // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 12. – С. 7–11.
6. Дуб, В. Ю. Диагностирование состояния реле с использованием искусственных нейронных сетей / В. Ю. Дуб // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 29. – С. 126–130.
7. Корсунский, Г. М. Применение метода осциллографического анализа динамических характеристик электромагнитных реле для его технической диагностики / Г. М. Корсунский, А. Ф. Мироненко, П. С. Федорев // Техника средств связи. Серия: Техника проводной связи : науч.-техн. сб. – Москва, 1979. – Вып. 5 (38). – С. 41–50.
8. Сливинская, А. Г. Электромагниты и постоянные магниты / А. Г. Сливинская. – Москва : Энергия, 1972. – 248 с.
9. Chui, C. K. An Introduction to Wavelets / C. K. Chui. – Pennsylvania : Academic Press, 1992. – 264 p.
10. Daubechies, I. Ten Lectures on Wavelets / I. Daubechies // CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics. – Philadelphia, 1992. – 378 p.
11. Dub, V. Development of neural network program for automated testing of railway contact blocks / V. Dub, V. Gavriluk // Archives of Transport System Telematics. – 2009. – Vol. 2. – Iss. 2. – P. 16–18.
12. Electromagnetic relay modelling: a multi physics problem. Part 2 : Dynamical behavior of the relay / M-A. Raulet, F. Sixdenier, R. Marion [et al.] // Compumag, 2007 : Proc. of 16th Intern. Conf. on the Computation of Electromagnetic Fields

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- (24.06–28.06.2007). – Aachen, Germany, 2007. – P. 125.
13. Laboreo, E. R. A New Model of Electromechanical Relays for Predicting the Motion and Electromagnetic Dynamics / E. R. Laboreo, C. Sagues, S. Llorente // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2016. – Vol. 52. – Iss. 3. – P. 2545–2553. doi: 10.1109/TIA.2016.2518120.
 14. Mallat, S. G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation / S. G. Mallat // IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1989. – Vol. 11. – Iss. 7. – P. 674–693. doi: 10.1109/34.192463.
 15. Mallat, S. G. A Wavelet Tour of Signal Processing representation / S. G. Mallat. – San Diego : Academic Press : Elsevier, 1999. – 629 p.
 16. Modeling of electromechanical relays taking into account movement and electrical circuits / F. Henrotte, A. Nicolet, H. Hedia [et al.] // IEEE Transactions on Magnetics. – 1994. – Vol. 30. – Iss. 5. – P. 3236–3239. doi: 10.1109/20.312627.
 17. Wattiaux, D. Modelling of the dynamic behavior of electromechanical relays for the analysis of sensitivity to shocks and vibrations / D. Wattiaux, O. Verlinden // Experimental Mechanics. – 2011. – Vol. 51. – Iss. 9. – P. 1459–1472. doi: 10.1007/s11340-011-9478-z.

В. І. ГАВРИЛЮК^{1*}

^{1*}Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта vl.havryliuk@gmail.com, ORCID 0000-0001-9954-4478

КОНТРОЛЬ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕЙТРАЛЬНИХ РЕЛЕ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ

Мета. Наукова робота передбачає розробку методу контролю механічних параметрів нейтрального реле залізничної автоматики шляхом аналізу струмів в обмотці й контактах реле при його перемиканні на основі вейвлет-перетворення. **Методика.** В основу методики покладено аналіз струмів в обмотці та контактах реле при його перемиканні на прикладі дискретного вейвлет-перетворення (ДВП). **Результати.** Виміряні та проаналізовані часові залежності струмів в обмотці й контактах при включенні і виключенні реле (що знаходяться в справному стані та з дефектами), отримані при різних напругах на котушці (10, 12 і 14 В). При збільшенні напруги, що подається на обмотку реле, швидкість наростання струму в обмотці помітно збільшувалася, але постійна часу ланцюга змінювалася незначно. Максимальні значення струму, при яких якір починав рух для справних реле, мало залежали від прикладеної напруги. Для ділянки залежності, при якій якір повністю притягнутий, постійна часу наростання струму також мало залежала від прикладеної напруги. Аналогічні результати отримані для постійної часу зменшення струму при виключенні напруги та при утриманні якоря. Струм рушання та струм відпускання якоря збільшувалися для реле з вантажем на якорі пропорційно вазі вантажу, а також для реле з тилловим контактом, зігнутим до низу, в той час як при вигині тилового контакту вгору ці струми мали менші значення. Великомасштабні (низькочастотні) коефіцієнти ДВП можуть бути використані для більш точного зіставлення струмів зрушення, відпускання й постійних часу перехідних процесів. Коефіцієнти малого масштабу ДВП (високочастотні) можуть бути використані в якості характерних ознак дефектів рухомої системи реле. **Наукова новизна.** Вперше, на основі проведеного дослідження, запропоновано використовувати деталізуючі коефіцієнти дискретного вейвлет-перетворення в якості ознак дефектів рухомої системи реле. Апроксимуючі (згладжуючі) коефіцієнти можуть бути використані для більш точного зіставлення струмів зрушення, відпускання та постійних часу перехідних процесів для виявлення дефектів електромагнітної системи реле. **Практична значимість.** Проведені автором дослідження можуть бути використані для розробки автоматизованого стенду контролю технічного стану нейтральних реле залізничної автоматики.

Ключові слова: електромагнітне реле; контроль параметрів; вейвлет-перетворення

V. I. HAVRYLIUK^{1*}

^{1*}Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail vl.havryliuk@gmail.com, ORCID 0000-0001-9954-4478

MECHANICAL PARAMETERS CONTROL OF THE NEUTRAL RELAY OF RAIL AUTOMATICS BASED ON WAVELET ANALYSIS

Purpose. The scientific paper focuses on development of a method for mechanical parameters control of the neutral relay of rail automatics by current analyzing in the coil and the relay contacts at switching based on wavelet transform. **Methodology.** The methodology was based on current analysis of the relay coil and contacts currents under its switching and analysis obtained results by using wavelet transform. **Findings.** The time dependences of the current in coil and in contacts under switching on and off for the operable relays and relays with certain defects have been measured at different voltages applied to coil (10, 12 и 14 V). When voltage applied to coil was increased the rate of coil current increased, but time constant of the circuit was changed with voltage slightly. The current value maximum at which the relay armature begun to move for the operable relays was depended on applied voltage slightly. For the time interval, at which armature was putted to the relay core fully, time constant of the circuit was changed with voltage slightly also. The maximum current value at which the armature starts to move to the relay serviceable little dependent on the applied voltage. For site based in which the anchor is completely dragged constant current rise time is also a little dependent on the applied voltage. Similar results were obtained for the current reduction time constant with turning off the voltage and current confinement. The current pick-up and the current release of the armature increases for the relay with the load anchor is proportional to the weight of cargo, as well as for the relay contact with the rear, bent down, while the flexural rear contact up these currents have smaller values. Large-scale (low-frequency) coefficients of DWT can be used for a more accurate comparison of the current pick-up, and release time constants of the transient. Small scale coefficients fiberboard (HF) can be used as distinguishing traits defects mobile relay system. **Originality.** For the first time, on the basis of the research proposed to use detailing coefficients of a discrete wavelet transform as a symptom of mobile relay system. The approximation (smoothing) ratios can be used for a more accurate comparison of the current pick-up, and release time constants of the transient to detect defects of the electromagnetic relay system. **Practical value.** The studies conducted by the author can be used to develop stand-aided control of a technical condition of the relay neutral railway automation.

Keywords: electromagnetic relays; control parameters; the wavelet transform

REFERENCES

1. Bondarenko B.M. Avtomatizirovanny kompleks diagnostiki rele zheleznodorozhnoy avtomatiki [Automated complex for diagnostic relays of railway automation]. *Elektro-mahnitna sumisnist ta bezpeka na zaliznychnomu transporti – Electromagnetic Compatibility and Safety on Railway Transport*, 2012, no. 3, pp. 68-76.
2. Bondarenko B.M. Akustychnyi kontrol elektromahnitnykh pryladiv zabezpechennia bezpeky rukhu zaliznychnoho transportutu [Acoustic control of electromagnetic devices to ensure the safety of railway traffic]. *Elektromagnitna sumisnist ta bezpeka na zaliznychnomu transporti – Electromagnetic Compatibility and Safety on Railway Transport*, 2013, no. 5, pp. 38-45.
3. Vitenberg M.V. *Raschet elektromagnitnykh rele* [The calculation of electromagnetic relays]. Moscow, Energiya Publ., 1975. 416 p.
4. Havryliuk V.I., Profatilov V.I. Avtomatizatsiya kontrolya parametrov neytralnykh rele zheleznodorozhnoy avtomatiki [Automation of the control of the parameters of the neutral relay of railway automatics]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti – Information and Control Systems for Railway Transport*, 2002, no. 4, 5, pp. 83-86.
5. Havryliuk V.I., Dub V.Yu. Diagnostirovaniye releyno-kontaktnykh ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki [Diagnosis of relay-contact devises of railway automatics]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2006, issue 12, pp. 7-11.
6. Dub V.Yu. Diagnostirovaniye sostoyaniya rele s ispolzovaniyem isskustvennykh neyronnykh setey [The diagnosis status of relays using artificial neural networks]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu*

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 29, pp. 126-130.
7. Korsunskiy G.M., Mironenko A.F., Fedorets P.S. Primeneniye metoda ostsillograficheskogo analiza dinamicheskikh kharakteristik elektromagnitnykh rele dlya yego tekhnicheskoy diagnostiki [Application of oscillographic analysis of the dynamic characteristics of electromagnetic relay for its technical diagnostics]. *Tekhnika sredstv svyazi. Seriya: Tekhnika provodnoy svyazi: nauchno-tekhnicheskyy sbornik* [Engineering Communications. Series: Technology of Wire Line Network: Science and Research Collection], 1979, issue 5 (38), pp. 41-50.
 8. Slivinskaya A.G. *Elektromagnity i postoyannyye magnity* [Electromagnets and permanent magnets]. Moscow, Energiya Publ., 1972, 248 p.
 9. Chui J.T. An Introduction to Wavelets. Pennsylvania, Academic Press Publ., 1992. 264 p.
 10. Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets. CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics. Philadelphia, 1992. 378 p.
 11. Dub V., Gavrilyuk V. Development of neural network program for automated testing of railway contact blocks. *Archives of Transport System Telematics*, 2009, vol. 2, issue 2, pp. 16-18.
 12. Raulet M-A., Sixdenier F., Marion R. Electromagnetic relay modelling: a multi physics problem. Part 2: Dynamical behavior of the relay. *Compumag*, 2007: Proc. of 16th Intern. Conf. on the Computation of Electromagnetic Fields (24.06–28.06.2007). Aachen, Germany, 2007. P. 125.
 13. Laboreo E. R., Sagues C., Llorente S. A New Model of Electromechanical Relays for Predicting the Motion and Electromagnetic Dynamics. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2016, vol. 52, issue 3, pp. 2545-2553. doi: 10.1109/TIA.2016.2518120.
 14. Mallat S.G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1989, vol. 11, issue 7, pp. 674-693. doi: 10.1109/34.192463.
 15. Mallat S.G. A Wavelet Tour of Signal Processing Representation. San Diego, Academic Press, Elsevier Publ., 1999. 629 p.
 16. Henrotte F., Nicolet A., Hedia H., Genon A., Legros W. Modeling of electromechanical relays taking into account movement and electrical circuits. *IEEE Transactions on Magnetics*, 1994, vol. 30, issue 5, pp. 3236-3239. doi: 10.1109/20.3126275.
 17. Wattiaux D., Verlinden O. Modelling of the dynamic behavior of electromechanical relays for the analysis of sensitivity to shocks and vibrations. *Experimental Mechanics*, 2011, vol. 51, issue 9, pp. 1459-1472. doi: 10.1007/s11340-011-9478-z.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Н. Н. Беляевым (Украина);
д.физ.-мат.н., проф. А. В. Коваленко (Украина)

Поступила в редколлегию: 21.07.2016

Принята к печати: 24.11.2016

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК [502.3:504.5]:[656.225:622.33]

Н. Н. БЕЛЯЕВ^{1*}, М. О. ОЛАДИПО^{2*}

^{1*}Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*}Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта Oladipo.toye@outlook.com, ORCID 0000-0001-7945-6657

ПРОБЛЕМА УНОСА УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

Цель. В работе необходимо провести разработку 2D численных моделей для прогноза загрязнения атмосферы при транспортировке сыпучих грузов в железнодорожном вагоне, а также способа защиты окружающей среды и прилегающих территорий от уноса пыли из полувагонов за счет установки воздушных завес. **Методика.** Для решения поставленной задачи разработаны численные модели, основанные на применении уравнений движения невязкой несжимаемой жидкости и массопереноса. Для численного интегрирования уравнения транспорта загрязнителя использовалась неявная разностная схема. Для численного интегрирования 2D уравнения для потенциала скорости применяется метод суммарной аппроксимации. Разработанные численные модели составляют основу созданного пакета прикладных программ. На основе построенных численных моделей проведен вычислительный эксперимент по оценке уровня загрязнения атмосферы при уносе угольной пыли из полувагона и наличии воздушной завесы. **Результаты.** Разработаны 2D численные модели, которые относятся к классу «diagnostic models». Данные модели учитывают основные физические факторы, влияющие на процесс рассеивания пылевых загрязнений в атмосфере при транспортировке сыпучих грузов. Разработанные численные модели позволяют рассчитывать процесс уноса пыли с учетом применения воздушной завесы, установленной на полувагоне. Они требуют небольших затрат компьютерного времени при практической реализации на компьютерах малой и средней мощности. Выполнены расчеты по определению концентрации загрязнителя и формирования зоны загрязнения вблизи вагона с сыпучим грузом в масштабе «microscale» с учетом воздушных завес. **Научная новизна.** Созданы 2D численные модели, позволяющие учесть существенные факторы, влияющие на процесс рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, и формирование зоны загрязнения при перевозке сыпучих грузов железнодорожным транспортом. Разработан способ защиты атмосферы от загрязнения при сносе сыпучих грузов с железнодорожного вагона, который основан по принципу воздушной завесы. **Практическая значимость.** Рассмотрены эффективные численные модели, которые могут быть применены при разработке мероприятий по охране окружающей среды при эксплуатации железнодорожного транспорта. Предложенные модели позволяют рассчитать 2D гидродинамику ветрового потока, с учетом установленной воздушной завесы, и процесс массопереноса вредных веществ в атмосфере.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы; полувагон; перевозка сыпучих грузов; численное моделирование, воздушная завеса

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Введение

В Нигерии происходит интенсивная добыча угля. Это приводит к формированию двух больших проблем, с точки зрения экологической безопасности и охраны труда. Первая проблема – унос угольной пыли при транспортировке угля железнодорожным транспортом (рис. 1). Такой унос угольной пыли приводит к загрязнению путей, прилегающей территории и рабочих зон на территории шахт или предприятиях, где используется уголь.

Вторая проблема – унос угольной пыли от штабелей угля или при его погрузке, разгрузке. В данной работе будет рассматриваться решение первой проблемы.



Рис. 1. Полувагон для транспортировки угля в Нигерии

Fig. 1. The railway gondola car for coal transportation in Nigeria

В рамках первой проблемы можно выделить две задачи. Первая задача – это прогноз уровня загрязнения окружающей среды при уносе угольной пыли из движущегося состава. Вторая задача – разработка методов, позволяющих уменьшить интенсивность загрязнения окружающей среды при уносе угольной пыли. В настоящее время для решения первой задачи по оценке уровня загрязнения окружающей среды используются эмпирические или аналитические модели [3–6, 10, 12]. Данные модели не учитывают ряд физических факторов, которые существенно влияют на формирование концентрационного поля пыли в атмосфере. Можно утверждать, что в настоящее время существует определенный дефицит математических моделей для решения этой задачи.

Для решения второй задачи используется подача специальных растворов на груз или штабель угля [2]. Если транспортируется уголь, добытый в карьере, то возможно его смачивание водой. Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки, но актуальной задачей остается разработка альтернативных методов, обладающих определенной эффективностью и не требующих больших экономических затрат при практической реализации.

Цель

Целью данной работы является разработка 2D численной модели для прогноза уровня загрязнения атмосферы при эмиссии угольной пыли из полувагона. Ставится задача создания модели, которая позволяла бы рассчитывать процесс уноса пыли с учетом применения воздушной завесы, установленной на полувагоне, и тем самым служит инструментом решения задачи по оценке эффективности применения данного метода защиты для различных условий эксплуатации транспортных средств.

Методика

Для уменьшения интенсивности выноса угольной пыли из полувагона предлагается использовать самоиндуцированную воздушную завесу. Идея работы такой завесы заключается в следующем. По периметру вагона, в верхней его части, размещаются воздухопроводы, которые имеют сверху перфорацию для выхода воздуха. Схема расположения воздухопроводов показана на рис. 2. Концы каждого воздухопровода открыты, но имеют обратный клапан, как например, для воздухопровода, расположенного на боковых сторонах полувагона (рис. 3).

При движении полувагона в тот конец воздухопровода, который направлен по направлению движения поезда, начинает поступать воздух.

Входящий в воздухопровод поток воздуха открывает клапан 4 (рис. 3), при этом клапан 5 – закрывается. Поступивший воздух движется через перфорацию (щель) наружу. Этот процесс условно показан на рис. 3 волнистыми стрелками. Таким образом, при движении вагона возникает вертикальная воздушная струя, которая как экран, расположенный по периметру полувагона, препятствует выносу угольной пыли на прилегающую территорию.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

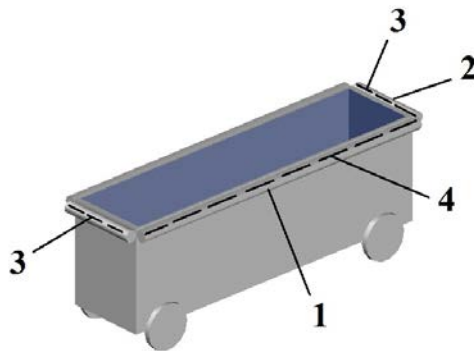


Рис. 2. Схема размещения воздухопроводов на корпусе полувагона:

1 – воздухопровод, расположенный вдоль боковой стенки полувагона; 2 – воздухопровод, расположенный на торцевых стенках полувагона; 3, 4 – перфорация в воздухопроводах

Fig. 2. Sketch of ducts set on the gondola car:
1 – a duct along the gondola car; 2 – a duct across the gondola car; 3, 4 – the perforations in the ducts

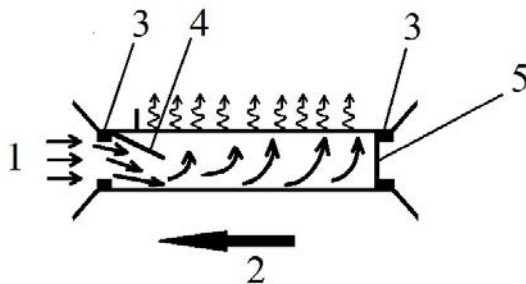


Рис. 3. Схема воздухопровода:

1 – вход воздушного потока; 2 – направление движения полувагона; 3 – седло клапана; 4, 5 – клапаны

Fig. 3. Sketch of the duct:
1 – inlet; 2 – direction of gondola car movement;
3 – valve seat; 4, 5 – valves

Варьируя площадь входных отверстий воздухопровода, площадь его поперечного сечения, площадь перфорации, на основе аэродинамического расчета, определяется скорость воздушного потока в воздушной завесе и ее величина, в зависимости от скорости движения состава [7, 8].

Математическая модель. Расчет процесса уноса угольной пыли из полувагона проводится в два этапа. На первом этапе решается задача по определению поля скорости воздушного потока, с учетом взаимодействия его с полувагоном и воздушной завесой. Для решения этой задачи применяется уравнение для потенциала скорости (модель течения невязкой идеальной жидкости) [13]:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

где φ – потенциал скорости, ось Y направлена вертикально вверх (рис. 2).

Компоненты вектора скорости воздушного потока рассчитываются по зависимостям:

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

Постановка краевых условий для данного уравнения рассматривается в работах [1, 13].

После определения поля скорости воздушного потока возле полувагона, на втором этапе, решается задача о переносе пылевых загрязнений из полувагона в атмосферу. Для построения наиболее общей математической модели будем использовать фундаментальное уравнение массопереноса [1, 4, 6, 14, 15, 16]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial (v - w_g)C}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (2)$$

где C – концентрация загрязняющего вещества (пылевой загрязнитель); u, v – компоненты вектора скорости воздушного потока; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты атмосферной турбулентной диффузии; Q – интенсивность выброса загрязнителя от «насыпи» в полувагоне или от штабеля угля; $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$ – дельта-функция Дирака; x_i, y_i – координаты источника выброса; w_g – скорость гравитационного оседания пыли; t – время.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [1, 13].

В разработанной численной модели используются следующие зависимости для задания профиля ветра и коэффициентов атмосферной диффузии [3, 5]:

$$u = u_1 \left(\frac{y}{y_1} \right)^p; \quad \mu_y = k_1 \left(\frac{y}{y_1} \right)^m; \quad \mu_x = k_0 u,$$

где u_1 – скорость ветра на высоте y_1 (принимается $y_1 \approx 10 \text{ м}$); $k_1 = 0,2$; $k_0 = 0,1$; $p = 0,16$; $m \approx 1$.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Численное интегрирование уравнений модели выполняется на прямоугольной разностной сетке. При формировании расчетной области используется метод маркирования [1, 13, 14]. С помощью маркеров задается положение железнодорожного вагона, форма «насыпи» сыпучего груза в полувагоне, положение отверстий воздуховода, через которые поступает воздух завесы.

Для решения моделирующих уравнений (1), (2) используется метод сеток. Уравнение для потенциала скорости численно интегрируется с помощью метода условной аппроксимации [11].

Для численного интегрирования уравнения массопереноса (2) применяется неявная разностная схема расщепления [1, 13, 15].

На основе построенных численных моделей создан пакет прикладных программ («generic model»). Для проведения расчетов на базе этого пакета программ необходимо задать:

1. Класс устойчивости атмосферы.
2. Профиль скорости ветра, скорость вагона, скорость воздушной завесы.
3. Форму насыпи сыпучего груза в полувагоне.

Интенсивность выделения пыли от насыпи в полувагоне рассчитывается на базе эмпирических зависимостей [16].

Отметим, что время расчета задачи в 2D постановке составляет порядка 5 с.

Результаты

Разработанные численные модели относятся к классу «diagnostic models». Данные модели могут быть использованы для быстрого серийного расчета загрязнения воздушной среды для разнообразных сценариев транспортировки сыпучих грузов в полувагонах. Построенные модели позволяют оперативно получить картину формирующихся зон загрязнения при сдуве пыли и при использовании воздушной завесы, созданной на стенках полувагона.

На базе разработанных численных моделей аэродинамики и массопереноса были проведены параметрические исследования по оценке эффективности применения воздушной завесы. При проведении исследований полагалось, что на полувагон с грузом угля (рис. 4) набегают поток воздуха со скоростью 15 км/ч. Груз на-

сыпан в полувагон с «горкой». Полагалось, что интенсивность уноса пыли от любого участка поверхности груза составляет, в безразмерном виде, $Q = a \cdot 100 \cdot V_m \cdot S$, где V_m – местная скорость воздушного потока возле соответствующего участка; S – площадь участка поверхности груза; a – масштабный множитель. Местная скорость V_m определяется расчетным путем при решении аэродинамической задачи (первый этап решения). Здесь важно подчеркнуть, что такой подход к оценке величины интенсивности уноса пыли позволяет *учитывать различную величину массы*, выделяемой пыли от различных участков насыпи, так как местная скорость воздушного потока везде – разная. Форма насыпи угля в полувагоне задается в математической модели с помощью маркеров.

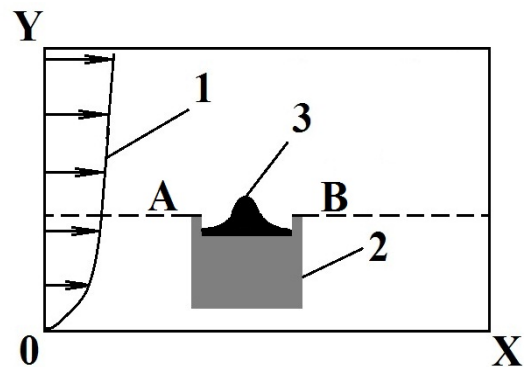


Рис.4. Расчетная схема:

1 – профиль скорости ветра; 2 – полувагон; 3 – груз

Fig. 4. Sketch of computational region:

1 – wind speed profile; 2 – gondola car; 3 – cargo

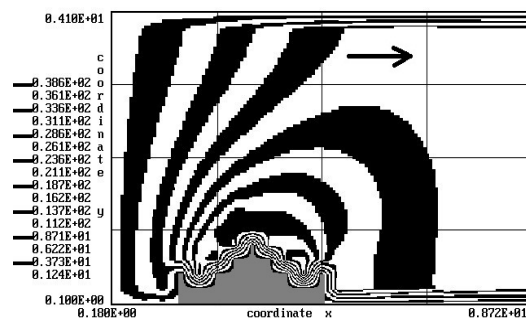


Рис. 5. Зона загрязнения возле вагона при отсутствии воздушной завесы

Fig. 5. Pollution area near the car (no air injection)

Рассмотрим результаты моделирования. На рис. 5 представлена зона загрязнения, которая сформировалась при сдуве пыли из полувагона

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

(верхняя часть полувагона), когда нет воздушной завесы.

Эту зону можно условно разбить на две подзоны: подзона 1 – это область с большим градиентом концентрации пыли, которая формируется непосредственно над насыпью груза в вагоне; подзона 2 – это шлейф пыли над полувагоном.

На рис. 6 представлена зона загрязнения возле полувагона при применении воздушной завесы (скорость в воздушной завесе $V_{in}=14\text{ м/с}$).

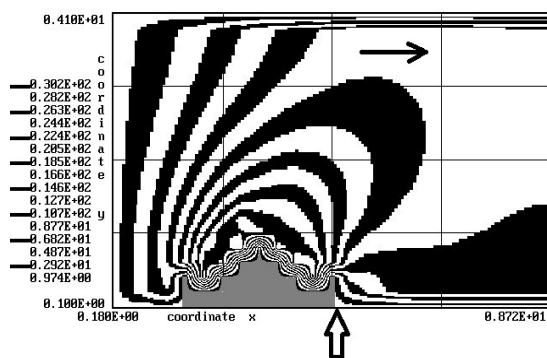


Рис. 6. Зона загрязнения при использовании воздушной завесы

Fig. 6. Pollution zone near the car with air injection

Из рис. 6 видно, что при применении воздушной завесы происходит отклонение зоны загрязнения вверх, то есть воздушная завеса создает тот же эффект, что и пластина (дефлектор). Необходимо подчеркнуть, что это способствует движению частиц пыли в те слои атмосферы, где скорость ветра больше, и тем самым процесс рассеивания приводит к созданию в атмосфере зон загрязнения с меньшей концентрацией примеси (по аналогии рассеивания примеси при ее выбросе от высоких промышленных труб).

Для количественной оценки влияния воздушной завесы на интенсивность загрязнения примагистральной территории определялась масса пыли M_{dust} на плоскости А–В, которая совпадала с верхней кромкой полувагона (рис. 4). При проведении расчетов варьировалась скорость потока в воздушной завесе V_{in} . Результаты этих параметрических исследований приведены в табл. 1. Отметим, что в этой таблице масса пыли на границе А–В, представ-

лена в безразмерном виде, что не влияет на анализ результатов исследования, с точки зрения их оценки относительно эффективности завесы.

Таблица 1

Масса примеси на плоскости, совпадающей с кромкой борта полувагона

Table 1

Weight of the impurity at the plane coinciding with the side edge of the gondola car

Скорость вдува	Нет	$V_{in} = 4,6 \text{ м/с}$	$V_{in} = 9,0 \text{ м/с}$	$V_{in} = 14,0 \text{ м/с}$
M_{dust} (масса пыли)	13,84	10,38	9,56	8,61

Анализируя данные, приведенные в табл. 1, можно утверждать, что применение воздушной завесы позволяет уменьшить интенсивность выноса пыли из полувагона.

Научная новизна и практическая значимость

Создана 2D численная модель, позволяющая рассчитывать формирование зон пылевых загрязнений возле железнодорожного полувагона при перевозке сыпучих грузов. Разработанная модель дает возможность выполнить расчет для случая применения воздушной завесы, установленной на вагоне. Данная модель позволяет учесть наиболее существенные физические факторы, влияющие на процесс рассеивания пылевых загрязнений в атмосфере. Представленная 2D численная модель основана на применении фундаментальных уравнений аэродинамики и массопереноса.

Особенностью разработанной модели является использование стандартной исходной информации, быстрота в получении расчетных данных и удобство анализа получаемых результатов прогноза.

Выводы

Рассмотрена эффективная 2D численная модель для количественной оценки уноса угольной пыли из полувагона при использовании метода защиты типа «воздушная завеса». Данная модель позволяет рассчитать 2D аэродина-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

мику ветрового потоку і процес масопереносу пилу на прилегальні до залізничної дороги території.

Дальніше удосконалення моделі слід проводити в напрямку її розвитку для розрахунку аеродинаміки на базі 3D рівнянь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беляев, Н. Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций : монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. Б. Машихина. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2013. – 159 с.
2. Беляев, Н. Н. Моделирование процесса сноса угольного концентрата из полувагонов / Н. Н. Беляев, А. А. Карпо // Наук. вісн. буд-ва : зб. наук. пр. / Харк. нац. техн. ун-т буд-ва та архіт. – Харків, 2016. – № 1 (83). – С. 196–199.
3. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
4. Берлянд, М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
5. Бруцкий, Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е. В. Бруцкий. – Киев : Ин-т гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
6. Гусев, Н. Г. Радиоактивные выбросы в биосфере / Н. Г. Гусев, В. А. Беляев. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 257 с.
7. Константинов, Ю. М. Гидравлика / Ю. М. Константинов. – Київ : Вища школа, 1981. – 360 с.
8. Кострюков, В. А. Основы гидравлики и аэродинамики / В. А. Кострюков. – Москва : Высш. шк., 1975. – 220 с.
9. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.
10. Рудаков, Д. В. Модель рассеивания примеси в приземном слое атмосферы над поверхностью со сложным рельефом / Д. В. Рудаков // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. Серія: Механіка. – Дніпропетровськ, 2004. – № 6. – Вип. 8, т. 1. – С. 89–97.
11. Самарский, А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – Москва : Наука, 1983. – 616 с.
12. Уорк, К. Загрязнение воздуха. Источники и контроль / К. Уорк, С. Уорнер. – Москва : Мир, 1980. – 539 с.
13. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – Київ : Наук. думка, 1997. – 368 с.
14. Berlov, O. V. Atmosphere protection in case of emergency during transportation of dangerous cargo / O. V. Berlov // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 48–54. doi: 10.15802/stp2016/60953.
15. Biliaiev, M. M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography / M. M. Biliaiev, M. M. Kharytonov // Air Pollution Modeling and its Application XXI / NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. – Springer Netherlands, 2012. – P. 87–91. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_15.
16. Final Report Environment Evaluation of Fugitive Coal Dust Emission from Coal Trains Goonyella, Blackwater and Moura Coal Rail Systems. Queensland : Queensland Rail Limited, 2008. – 414 p.

М. М. БІЛЯЄВ^{1*}, М. О. ОЛАДИПО^{2*}

^{1*}Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*}Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта Oladipo.toye@outlook.com, ORCID 0000-0001-7945-6657

ПРОБЛЕМА ЗНЕСЕННЯ ВУГІЛЬНОГО ПИЛУ

Мета. У роботі необхідно виконати розробку 2D числових моделей для прогнозу забруднення атмосфери при транспортуванні сипучих вантажів в залізничному вагоні, а також способу захисту навколишнього середовища і примігстральних територій від знесення пилу з піввагонів за рахунок установки повітряних

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

завіс. **Методика.** Для розв'язання поставленої задачі розроблені числові моделі, засновані на застосуванні рівнянь руху невязкої нестисливої рідини і масопереносу. Для числового інтегрування рівняння транспорту забруднювача використовувалася неявна різницева схема. Для числового інтегрування 2D рівняння для потенціалу швидкості застосовується метод сумарної апроксимації. Розроблені числові моделі складають основу створеного пакета прикладних програм. На основі побудованих числових моделей проведено обчислювальний експеримент по оцінці рівня забруднення атмосфери при знесенні вугільного пилу з піввагона та наявності повітряної завіси. **Результати.** Розроблені 2D числові моделі, які відносяться до класу «diagnostic models». Дані моделі враховують основні фізичні фактори, що впливають на процес розсіювання пилових забруднень в атмосфері при транспортуванні сипучих вантажів. Розроблені числові моделі дозволяють розраховувати процес виносу пилу з урахуванням застосування повітряної завіси, встановленої на піввагоні. Вони вимагають невеликих затрат комп'ютерного часу при практичній реалізації на комп'ютерах малої і середньої потужності. Виконано розрахунки по визначенню концентрації забруднювача і формування зони забруднення поблизу вагона з сипучим вантажем в масштабі «microscale» з урахуванням повітряних завіс. **Наукова новизна.** Створено 2D числові моделі, що дозволяють врахувати істотні фактори, що впливають на процес розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері, і формування зони забруднення при перевезенні сипучих вантажів залізничним транспортом. Розроблено спосіб захисту атмосфери від забруднення при знесенні сипучих вантажів з залізничного вагона, який заснований за принципом повітряної завіси. **Практична значимість.** Розглянуті ефективні числові моделі, які можуть бути застосовані при розробці заходів з охорони навколишнього середовища при експлуатації залізничного транспорту. Запропоновані моделі дозволяють розрахувати 2D гідродинаміку вітрового потоку, з урахуванням встановленої повітряної завіси, і процес масопереносу шкідливих речовин в атмосфері.

Ключові слова: забруднення атмосфери; напіввагон; перевезення сипучих вантажів; числове моделювання, повітряна завіса

М. М. BILIAIEV^{1*}, М. О. OLADIPO^{2*}

^{1*}Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*}Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail Oladipo.toye@outlook.com, ORCID 0000-0001-7945-6657

COAL DUST EMISSION PROBLEM

Purpose. The article aims to develop 2D numerical models for the prediction of atmospheric pollution during transportation of coal in the railway car, as well as the ways to protect the environment and the areas near to the mainline from the dust emission due to the air injection installation. **Methodology.** To solve this problem there were developed numerical models based on the use of the equations of motion of an inviscid incompressible fluid and mass transfer. For the numerical integration of the transport equation of the pollutant the implicit alternating-triangular difference scheme was used. For numerical integration of the 2D equation for the velocity potential the method of total approximation was used. The developed numerical models are the basis of established software package. On the basis of the constructed numerical models it was carried out a computational experiment to assess the level of air pollution when transporting bulk cargo by rail when the railway car has the air injection. **Findings.** 2D numerical models that belong to the class «diagnostic models» were developed. These models take into account the main physical factors affecting the process of dispersion of dust pollution in the atmosphere during transportation of bulk cargo. The developed numerical models make it possible to calculate the dust loss process, taking into account the use of the air injection of the car. They require a small cost of the computer time during practical realization at the low and medium power machines. There were submitted computational calculations to determine pollutant concentrations and the formation of the zone of pollution near the train with bulk cargo in «microscale» scale taking into account the air curtains. **Originality.** 2D numerical models taking into account the relevant factors influencing the process of dispersion of pollutants in the atmosphere, and the formation of the zone of pollution during transportation of bulk cargo by rail were created. A way to protect the atmosphere from pollution during the emission of bulk cargoes from the rail car, which is based on the principle of the air injection, was developed. **Practical value.** The efficient numerical models which can be used in the development of environmental protection

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

measures in the operation of railway transport were considered. The proposed model allows calculating 2D dynamics of wind flow, taking into account the installed air injection, and mass transfer process of pollutants in the atmosphere.

Keywords: air pollution; gondola car; bulk cargo transportation; numerical simulation; air injection

REFERENCES

1. Biliaiev M.M., Gunko Ye.Yu., Mashikhina P.B. *Matematicheskoye modelirovaniye v zadachakh ekologicheskoy bezopasnosti i monitoringa chrezvychaynykh situatsiy* [Mathematical modeling in problems of environmental safety and monitoring emergencies]. Dnepropetrovsk, Aktsent PP Publ., 2013. 159 p.
2. Biliaiev M.M., Karpo A.A. *Modelirovaniye protsessa snosa ugolnogo kontsentrata iz poluvagonov* [Simulation of the process of coal concentrate out from gondola cars]. *Zbirnyk naukovykh prats «Naukovyi visnyk budivnytstva»* [Proc. «Scientific Bulletin of Construction»], 2016, issue 1 (83), pp. 196-199.
3. Berlyand M.Ye. *Sovremennyye problemy atmosferynoy diffuzii i zagryazneniya atmosfery* [Modern problems of atmospheric diffusion and air pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975. 448 p.
4. Berlyand M.Ye. *Prognoz i regulirovaniye zagryazneniya atmosfery* [Prediction and regulation of air pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985. 273 p.
5. Bruyatskiy Ye.V. *Teoriya atmosferynoy diffuzii radioaktivnykh vybrosov* [The theory of atmospheric diffusion of radioactive emissions]. Kiev, Institut gidromekhaniki NAN Ukrainy Publ., 2000. 443 p.
6. Gusev N.G., Belyayev V.A. *Radioaktivnyye vybrosty v biosfere* [Radioactive emissions in the biosphere]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 257 p.
7. Konstantinov Yu.M. *Gidravlika* [Hydraulics]. Kiev, Vyshcha shkola Publ., 1981. 360 p.
8. Kostriukov V.A. *Osnovy gidravliki i aerodinamiki* [Fundamentals of hydraulics and aerodynamics]. Moscow, Vyshcha shkola Publ., 1975. 220 p.
9. Marchuk G.I. *Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushchey sredy* [Mathematical modeling in the environmental problem]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 320 p.
10. Rudakov D.V. Model rasseivaniya primesi v prizemnom sloye atmosfery nad poverkhnostyu so slozhnym relyefom [Model of impurity dispersion in the atmospheric surface layer over a surface with challenging terrain]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Mekhanika* [Bulletin of Oles Honchar Dnipropetrovsk National University. Series: Mechanics], 2004, no. 6, issue 8, vol. 1, pp. 89-97.
11. Samarskiy A.A. *Teoriya raznostnykh skhem* [The theory of difference schemes]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 616 p.
12. Uork K., Uorner S. *Zagryazneniye vozdukha. Istochniki i kontrol* [Air pollution. Sources and control]. Moscow, Mir Publ., 1980. 539 p.
13. Zgurovskiy M.Z., Skopetskiy V.V., Khrushch V.K., Biliaiev M.M. *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modeling of pollution spreading in the environment]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1997. 368 p.
14. Berlov O. V. Atmosphere protection in case of emergency during transportation of dangerous cargo. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2016, no. 1 (61), pp. 48-54. doi: 10.15802/stp2016/60953.
15. Biliaiev M.M., Kharytonov M.M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography. Air Pollution Modeling and its Application XXI. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer Netherlands, 2012, pp. 87-91. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_15.
16. Final Report Environment Evaluation of Fugitive Coal Dust Emission from Coal Trains Goonyella, Blackwater and Moura Coal Rail Systems. Queensland, Queensland Rail Limited, 2008. 414 p.

Статья рекомендована к публикации д.физ.-мат.н., проф. С. А. Пичуговым (Украина);
д.т.н., проф. С. З. Полищуком (Украина)

Поступила в редколлегию: 10.08.2016

Принята к печати: 25.11.2016

УДК 502.3:504.5:621.43.068.4

Н. Н. БЕЛЯЕВ^{1*}, Е. С. СЛАВИНСКАЯ^{2*}, Р. В. КИРИЧЕНКО^{3*}

^{1*}Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*}Каф. «Управление производством и имуществом», Национальный транспортный университет, ул. Суворова, 1, Киев, Украина, 01010, тел. +38 (044) 280 82 03, эл. почта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-5163-5645

^{3*}Каф. «Управление производством и имуществом», Национальный транспортный университет, ул. Суворова, 1, Киев, Украина, 01010, тел. +38 (044) 280 82 03, эл. почта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-9918-3895

ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ВЫБРОСАМИ АВТОТРАНСПОРТА

Цель. Научная работа предполагает: 1) разработку 3D численных моделей, которые позволяют рассчитывать процесс загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта; 2) создание моделей, которые давали бы возможность прогнозировать уровень загрязнения атмосферного воздуха в условиях городской застройки. **Методика.** Для решения задачи по оценке уровня загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта используются фундаментальные уравнения аэродинамики и массопереноса. Для решения дифференциальных уравнений аэродинамики и массопереноса используются конечно-разностные методы. Для численного интегрирования уравнения потенциала скорости применяется метод условной аппроксимации. Уравнение для потенциала скорости, записанное в разностном виде, расщепляется на два уравнения, причем на каждом шаге расщепления неизвестное значение потенциала скорости определяется по явной схеме бегущего счета, при этом сама разностная схема – неявная. Для численного интегрирования уравнения рассеивания выбросов в атмосфере применяется неявная попеременно-треугольная разностная схема расщепления. Выбросы от автотрассы моделируются серией точечных источников заданной интенсивности. Разработанные численные модели составляют основу созданного пакета прикладных программ. **Результаты.** Разработаны 3D численные модели, которые относятся к классу «diagnostic models». Данные модели учитывают основные физические факторы, влияющие на процесс рассеивания вредных веществ в атмосфере при выбросах от автотранспорта в городе. На основе построенных численных моделей проведен вычислительный эксперимент по оценке уровня загрязнения воздушной среды на улице. **Научная новизна.** Авторами разработаны численные модели, которые позволяют рассчитать 3D аэродинамику ветрового потока в условиях городской застройки и процесс массопереноса выбросов от автотрассы. Выполнены расчеты по определению зоны загрязнения, которая формируется возле зданий, расположенных вдоль автомагистрали. **Практическая значимость.** В работе рассмотрены эффективные численные модели, которые могут быть применены при разработке мероприятий по охране окружающей среды при эксплуатации автомобильного транспорта в городе. Разработанные модели позволяют оценить размеры, форму и интенсивность зоны загрязнения возле автомагистрали.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы; автотранспорт; численное моделирование

Введение

В настоящее время усилился интерес к разработке моделей для оценки уровня загрязнения воздушной среды выбросами автотранспорта (рис. 1) [1, 2, 13, 15, 16]. Это связано с тем, что применение метода физического моделирования [14] требует значительных материальных затрат, времени на проведение эксперимента, обработку и анализ полученных результатов.

При использовании метода математического моделирования наиболее часто применяются

эмпирические и аналитические модели [3–5, 7, 9]. Такие модели дают возможность оперативно получать данные о возможном уровне загрязнения атмосферного воздуха, но не учитывают самый главный фактор – наличия зданий, которые деформируют поле скорости ветрового потока и вследствие этого формирующие зоны загрязнения в атмосфере.

Поэтому в мире активно развивается численное моделирование процесса загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта [1, 2, 16]. Однако в Украине существует определенный дефицит численных моделей,

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

ориентированных на решение задач рассматриваемого класса.



Рис. 1. Выбросы от автотранспорта

Fig. 1. Emissions from motor vehicles

Цель

Целью данной работы является разработка 3D CFD моделей для прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха в условиях застройки выбросами автомобилей. Ставится задача создания моделей, которые давали бы возможность оперативно прогнозировать уровень загрязнения атмосферного воздуха и оценивать влияние автотранспорта на степень этого загрязнения.

Методика

Для решения задачи по прогнозу уровня загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта будут использоваться фундаментальные уравнения аэродинамики и массопереноса. Для численного интегрирования моделирующих уравнений будут применяться конечно-разностные методы.

Математическая модель. Модель аэродинамики. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха выбросами от автотранспорта будет осуществлена с учетом застройки примагистральной территории. Поэтому, для решения такой задачи необходимо определить поле скорости ветрового потока при наличии застройки. Для решения этой задачи будем применять модель идеальной жидкости. Если сделать предположение о безвихревом воздушном потоке, то моделирующее уравнение будет иметь вид [10, 12]:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0, \quad (1)$$

где φ – потенциал скорости.

Компоненты вектора скорости воздушного потока определяется такими соотношениями:

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad w = \frac{\partial \varphi}{\partial z}.$$

Постановка краевых условий для данного уравнения рассматривается в работе [10].

Модель массопереноса. Для моделирования рассеивания выбросов от автомобилей в атмосферном воздухе будем использовать следующее уравнение [1, 6, 10, 11]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s)C}{\partial z} + \sigma C = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \\ + \sum Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i), \end{aligned} \quad (2)$$

где C – концентрация вредного вещества в атмосферном воздухе; u, v, w – компоненты вектора скорости движения воздушной среды; μ_x, μ_y, μ_z – коэффициенты атмосферной турбулентной диффузии; σ – коэффициент, учитывающий изменение концентрации за счет химических реакций, протекающих в атмосфере и вымывания вредного вещества осадками [5]; t – время; x_i, y_i, z_i – координаты расположения точечного источника выделения примеси (место расположения автомобилей); w_s – скорость гравитационного оседания загрязнителя; $Q_i(t)$ – интенсивность эмиссии точечного источника (интенсивность выброса от автомобилей); $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i)$ – обозначение дельта-функции Дирака.

Таким образом, загрязнение примагистральной территории от автотранспорта моделируется серией точечных источников заданной интенсивности. Поскольку выбросы от автомобилей содержат различные вредные вещества, уравнение (2) необходимо использовать для рассеивания каждого конкретного вредного вещества.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Постановка граничных и начальных условий для уравнения массопереноса рассмотрено в работах [1, 10].

На входе в расчетную область задаются следующие значения параметров [5, 6]:

$$u = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^p, \mu_z = k_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^m,$$

$$\mu_x = k_0 u, \mu_y = \mu_z,$$

где u_1 – скорость ветра на высоте z_1 (принимается $z_1 \approx 10 \text{ м}$); $k_1 = 0,2$; $k_0 = 0,1$; $p = 0,16$; $m \approx 1$.

С помощью маркеров в дискретной модели задается положение автомагистрали, интенсивность выбросов от автомобилей и положение зданий в расчетной области. Это позволяет очень быстро формировать «геометрию» расчетной области, то есть положение зданий, их форму, положение автомагистралей и т.д.

Для решения дифференциальных уравнений аэродинамики и массопереноса используются конечно-разностные методы. Так для численного интегрирования уравнения для потенциала скорости применяется метод условной аппроксимации [8]. Предварительно, уравнение (1) записывается в эволюционном виде:

$$\frac{\partial P}{\partial \eta} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2}, \quad (3)$$

здесь η – фиктивное время.

При $\eta \rightarrow \infty$ решение уравнения (3) будет стремиться к «установлению», то есть к решению уравнения (1).

Разностные уравнения для численного решения (3), на каждом дробном шаге расщепления, имеют вид [8]:

$$\begin{aligned} \frac{P_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} - P_{i,j,k}^n}{\Delta t} = & \left[\frac{-P_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} + P_{i-1,j,k}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} \right] + \\ & + \left[\frac{-P_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} + P_{i,j-1,k}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right] + \left[\frac{-P_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} + P_{i,j,k-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta z^2} \right], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{P_{i,j,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = & \left[\frac{P_{i+1,j,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} \right] + \\ & + \left[\frac{P_{i,j+1,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y^2} \right] + \left[\frac{P_{i,j,k+1}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z^2} \right]. \end{aligned}$$

На каждом шаге расщепления расчет неизвестной величины потенциала скорости идет по явной формуле – методу бегущего счета.

Перед началом численного интегрирования уравнения (3) задается поле потенциала скорости для «начального» момента фиктивного времени. Процесс расчета поля потенциала скорости заканчивается при выполнении условия:

$$|P_{i,j,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^n| \leq \varepsilon,$$

где $P_{i,j,k}^{n+1}$ – новое приближение величины потенциала скорости; $P_{i,j,k}^n$ – предыдущее значение величины потенциала скорости; ε – малое число.

После расчета поля потенциала скорости осуществляется расчет компонент вектора скорости воздушного потока на гранях разностных ячеек по зависимостям:

$$u_{ijk} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i-1,j,k}}{\Delta x},$$

$$v_{ijk} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i,j-1,k}}{\Delta y},$$

$$w_{ijk} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i,j,k-1}}{\Delta z}.$$

После решения задачи аэродинамики – определения поля скорости воздушного потока – решается задача массопереноса загрязняющих веществ от автомагистрали. Для численного интегрирования уравнения массопереноса используется попеременно-треугольная разностная схема [10]. Построение этой разностной схемы осуществляется путем расщепления решения исходного уравнения массопереноса (2) на последовательность разностных уравнений более простой структуры, из которых неизвестное значение концентрации примеси определяется методом бегущего счета.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Результаты

Ниже представлены результаты решения задачи по оценке уровня загрязнения атмосферного воздуха вблизи двух зданий. Рядом со зданиями планируется строительство автомагистрали (рис. 2). Как видно из рис. 2, автомагистраль огибает первое здание (позиция 1, рис. 2), которое имеет Г-образную форму. Интенсивность эмиссии CO от автомагистрали задается с помощью дельта-функции Дирака, то есть набором точечных источников эмиссии, расположенных по трассе автомагистрали. Ставилась задача оценки размеров, формы зоны загрязнения возле автомагистрали.

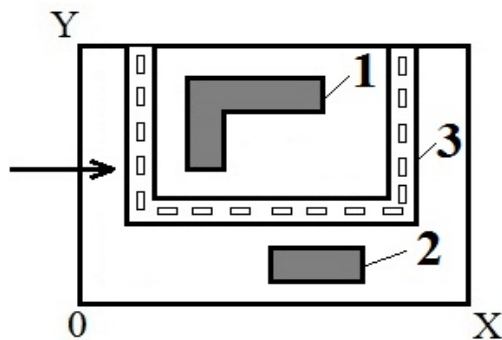


Рис. 2. Расчетная схема:
1, 2 – здания, 3 – автомагистраль

Fig. 2. Sketch of computational region:
1, 2 – buildings, 3 – highway

На последующих рисунках представлена зона загрязнения атмосферного воздуха в расчетной области для двух различных уровней по высоте. На рис. 3 показана зона загрязнения на уровне $z = 3$ м. Из этого рисунка хорошо видно, что первое здание полностью попадает в зону влияния автомагистрали. Между зданиями формируется подзона с большим градиентом концентрации примеси.

На рис. 4 показана зона загрязнения атмосферного воздуха на более высоком уровне – $z = 7,5$ м (высота зданий 6 м). Сравнивая рис. 3 и рис. 4 можно заметить различия в характере распределения в концентрации примеси на разных высотах. Так на большей высоте зона загрязнения более «разрежена», что объясняется тем, что на данной высоте происходит более интенсивный снос примеси ветровым потоком. На этой высоте позиция второго здания (прямоугольное здание – позиция 2, рис. 2) не вид-

на. Позиция первого здания четко не очерчена, но видно определенное «поджатие» зоны загрязнения в районе между автомагистралью и первым зданием.

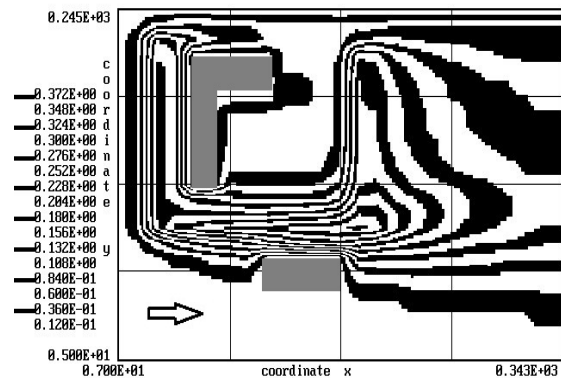


Рис. 3. Зона загрязнения возле зданий
(уровень $z = 3$ м)

Fig. 3. Pollution area near the buildings ($z = 3$ m)

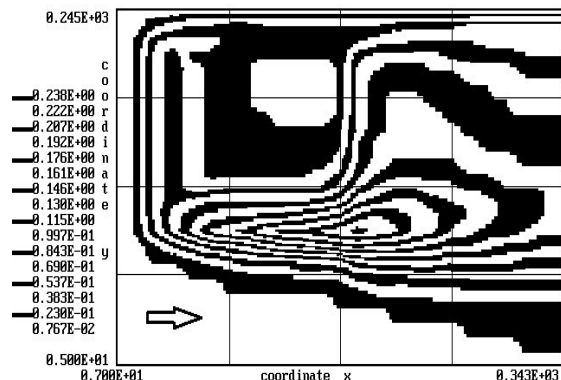


Рис. 4. Зона загрязнения возле зданий
(уровень $z = 7,5$ м)

Fig. 4. Pollution area near the buildings ($z = 7,5$ m)

Отметим, что на решение задачи потребовалось около 10 с компьютерного времени.

Научная новизна и практическая значимость

Созданы 3D численные модели, позволяющие рассчитывать формирование зон загрязнений в условиях застройки выбросами от автотранспорта. Представленные 3D численные модели основаны на применении фундаментальных уравнений аэродинамики и массопереноса.

Особенностью разработанных моделей является использование стандартной метеорологической информации, быстрота в получении

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

расчетных данных и удобство анализа получаемых результатов прогноза.

Выводы

Предложены численные 3D модели для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха выбросами от автотранспорта. Особенностью предложенных численных моделей является возможность прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха в условиях застройки. Решение аэродинамической задачи по определению поля скорости воздушного потока, при наличии зданий, основывается на численном интегрировании уравнения для потенциала скорости. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха осуществляется на базе уравнения массопереноса, которое учитывает конвективный и диффузионный перенос примеси в атмосфере. Выбросы от автотрассы моделируются серией точечных источников, которые задаются с помощью дельта-функции Дирака. Предложенные модели дают возможность оперативно получить информацию об уровне загрязнения атмосферного воздуха в районах, где проходят автомагистрали.

Дальнейшее совершенствование моделей следует проводить в направлении создания численной модели, учитывающей химическую трансформацию выбросов в атмосфере.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беляев, Н. Н. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах городов : монография / Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова, П. С. Кириченко. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2014. – 159 с.
2. Беляев, Н. Н. CFD прогнозирование процесса загрязнения воздушной среды на улицах / Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова // *Екологія і природокористування : зб. наук. пр. ін-ту проблем природокористування та екології НАН України*. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 17. – С. 188–194.
3. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
4. Берлянд, М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
5. Бруцкий, Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е. В. Бруцкий. – Киев : Ин-т гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
6. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.
7. Рудаков, Д. В. Модель рассеивания примеси в приземном слое атмосферы над поверхностью со сложным рельефом / Д. В. Рудаков // *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. Серія: Механіка*. – Дніпропетровськ, 2004. – № 6, вип. 8, т. 1. – С. 89–97.
8. Самарский, А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – Москва : Наука, 1983. – 616 с.
9. Уорк, К. Загрязнение воздуха. Источники и контроль / К. Уорк, С. Уорнер. – Москва : Мир, 1980. – 539 с.
10. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – Київ : Наук. думка, 1997. – 368 с.
11. Berlov, O. V. Atmosphere protection in case of emergency during transportation of dangerous cargo / O. V. Berlov // *Наука та прогрес транспорту*. – 2016. – № 1 (61). – С. 48–54. doi: 10.15802/stp2016/60953.
12. Biliaiev, M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography / M. Biliaiev // *NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*. – 2011. – P. 87–91. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_15.
13. Mitran, G. The identification of major factors from road traffic which produce the air pollution and presentation of the current stage of the research in road traffic modeling and air pollution from road vehicles / G. Mitran // *PhD Scientific Report No. 1 / University of Pitesti*. – Pitesti, Romania, 2011. – P. 60–63.
14. Ooka, R. Wind – tunnel test of gaseous diffusion in street canyon with thermal stratification / R. Ooka, S. Murakami, S. Iizuka // *Wind*

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

- Engeneering into the 21st Century. – 1999. – Vol. 2. – P. 781–786.
15. Sathe, Y. V. Air Quality Modeling in Street Canyons of Kolhapur City, Maharashtra, India / Y. V. Sathe // Universal J. of Environmental Research and Technology. – 2012. – Vol. 2. – Iss. 2. – P. 97–105.
16. Xianxiang, Li. Large-Eddy Simulation of Wind Flow and Air Pollutant Transport inside Urban Street Canyons of Different Aspect Ratios / Li Xianxiang // Posgraduated Thesis / University of Hong Kong – Pokfulam, Hong Kong, 2008. – P. 205. doi: 10.5353/th_b4068732.

М. М. БІЛЯЄВ^{1*}, О. С. СЛАВІНСЬКА^{2*}, Р. В. КИРИЧЕНКО^{3*}

^{1*}Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*}Каф. «Управління виробництвом та майном», Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, Київ, Україна, 01010, тел. +38 (044) 280 82 03, ел. пошта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-5163-5645

^{3*}Каф. «Управління виробництвом та майном», Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, Київ, Україна, 01010, тел. +38 (044) 280 82 03, ел. пошта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-9918-3895

ЧИСЕЛЬНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ АВТОТРАНСПОРТУ

Мета. Наукова робота передбачає: 1) розробку 3D чисельних моделей, які дозволяють розраховувати процес забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту; 2) створення моделей, які давали б можливість прогнозувати рівень забруднення атмосферного повітря в умовах міської забудови. **Методика.** Для розв'язання задачі з оцінки рівня забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту використовуються фундаментальні рівняння аеродинаміки і масопереносу. Для розв'язання диференціальних рівнянь аеродинаміки і масопереносу використовуються кінцево-різницеві методи. З метою чисельного інтегрування рівняння для потенціалу швидкості застосовується метод умовної апроксимації. Рівняння для потенціалу швидкості, записане в різницевою вигляді, розщеплюється на два рівняння, причому на кожному кроці розщеплення невідоме значення потенціалу швидкості визначається за явною схемою біжучого рахунку, при цьому сама різницева схема – неявна. Для чисельного інтегрування рівняння розсіювання викидів в атмосфері застосовується неявна поперемінно-трикутна різницева схема розщеплення. Викиди від автотраси моделюються серією точкових джерел заданої інтенсивності. Розроблені чисельні моделі складають основу створеного пакета прикладних програм. **Результати.** Розроблені 3D чисельні моделі, які належать до класу «diagnostic models». Дані моделі враховують основні фізичні фактори, що впливають на процес розсіювання шкідливих речовин в атмосфері при викидах від автотранспорту в місті. На основі побудованих чисельних моделей виконано обчислювальний експеримент із оцінки рівня забруднення повітряного середовища на вулиці. **Наукова новизна.** Авторами розроблено чисельні моделі, які дозволяють розрахувати 3D аеродинаміку вітрового потоку в умовах міської забудови та процес масопереносу викидів від автотраси. Виконано розрахунки по визначенню зони забруднення, яка формується біля будівель, розташованих вздовж автомагістралі. **Практична значимість.** В роботі розглянуті ефективні чисельні моделі, які можуть бути застосовані при розробці заходів із охорони навколишнього середовища при експлуатації автомобільного транспорту в місті. Розроблені моделі дозволяють оцінити розміри, форму та інтенсивність зони забруднення біля автомагістралі.

Ключові слова: забруднення атмосфери; автотранспорт; чисельне моделювання

M. M. BILIAIEV^{1*}, O. S. SLAVINSKA^{2*}, R. V. KYRYCHENKO^{3*}

^{1*}Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*}Dep. «Manufacturing and Property Management», National Transport University of Ukraine, Suvorov St., 1, Kyiv, Ukraine, 01010, tel. +38 (044) 280 82 03, e-mail gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-5163-5645

^{3*}Dep. «Manufacturing and Property Management», National Transport University of Ukraine, Suvorov St., 1, Kyiv, Ukraine, 01010, tel. +38 (044) 280 82 03, e-mail gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0001-9918-3895

NUMERICAL PREDICTION MODELS FOR AIR POLLUTION BY MOTOR VEHICLE EMISSIONS

Purpose. Scientific work involves: 1) development of 3D numerical models that allow calculating the process of air pollution by motor vehicles emissions; 2) creation of models which would allow predicting the air pollution level in urban areas. **Methodology.** To solve the problem upon assessing the level of air pollution by motor vehicles emissions fundamental equations of aerodynamics and mass transfer are used. For the solution of differential equations of aerodynamics and mass transfer finite-difference methods are used. For the numerical integration of the equation for the velocity potential the method of conditional approximations is applied. The equation for the velocity potential written in differential form, splits into two equations, where at each step of splitting an unknown value of the velocity potential is determined by an explicit scheme of running computation, while the difference scheme is implicit one. For the numerical integration of the emissions dispersion equation in the atmosphere applies the implicit alternating-triangular difference scheme of splitting. Emissions from the road are modeled by a series of point sources of given intensity. Developed numerical models form is the basis of the created software package. **Findings.** 3D numerical models were developed; they belong to the class of «diagnostic models». These models take into account main physical factors that influence the process of dispersion of harmful substances in the atmosphere when emissions from vehicles in the city occur. Based on the constructed numerical models the computational experiment was conducted to assess the level of air pollution in the street. **Originality.** Authors have developed numerical models that allow to calculate the 3D aerodynamics of the wind flow in urban areas and the process of mass transfer emissions from the highway. Calculations to determine the area of contamination, which is formed near the buildings, located along the highway were carried out. **Practical value.** Efficient numerical models that can be applied when developing activities for environmental protection in the operation of road transport in the city. The developed models allow to estimate the size, shape, and intensity of the contamination zone near the highway.

Keywords: air pollution; vehicles; numerical simulation

REFERENCES

1. Biliaiev M.M., Rusakova T.I., Kyrychenko P.S. *Modelirovaniye zagryazneniya atmosfernogo vozdukha vybrosami avtotransporta na ulitsakh gorodov* [Simulation of air pollution emissions by vehicles in city streets]. Dnepropetrovsk, Aktsent PP Publ., 2014, 159 p.
2. Biliaiev M.M., Rusakova T.I. CFD prognozirovaniye protsessa zagryazneniya vozdukhnoy sredy na ulitsakh [CFD prediction of air pollution process in the streets]. *Zbirnyk naukovykh prats instytutu problem pryrodokorystuvannia ta ekolohii NAN Ukrainy «Ekolohiia i pryrodokorystuvannia»* [Bulletin of Institute of Natural Resources and Ecology of NAS of Ukraine «Ecology and Environmental Sciences»], 2013, issue 17, pp. 188-194.
3. Berlyand M.Ye. *Prognoz i regulirovaniye zagryazneniya atmosfery* [Prediction and regulation of air pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985, 273 p.
4. Berlyand M.Ye. *Sovremennyye problemy atmosfernoy diffuzii i zagryazneniya atmosfery* [Contemporary problems of atmospheric diffusion and air pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975, 448 p.
5. Bruyatskiy Ye.V. *Teoriya atmosfernoy diffuzii radioaktivnykh vybrosov* [The theory of atmospheric diffusion of radioactive emissions]. Kiev, Institut gidromekhaniki NAN Ukrainy Publ., 2000, 443 p.
6. Marchuk G.I. *Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushchey sredy* [Mathematical modeling in the environmental problem]. Moscow, Nauka Publ., 1982, 320 p.
7. Rudakov D.V. Model rasseivaniya primesi v prizemnom sloye atmosfery nad poverkhnostyu so slozhnym relefom [Model of impurity dispersion in the ground layer over a surface with complex terrain]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Mekhanika* [Bulletin of Oles Honchar Dnipropetrovsk National University. Series: Mechanics], 2004, no. 6, issue 8, vol. 1, pp. 89-97.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

8. Samarskiy A.A. *Teoriya raznostnykh skhem* [The theory of difference schemes]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 616 p.
9. Uork K., Uorner S. *Zagryazneniye vozdukha. Istochniki i kontrol* [Air pollution. Sources and control]. Moscow, Mir Publ., 1980. 539 p.
10. Zgurovskiy M.Z., Skopetskiy V.V., Khrushch V.K., Biliaiev M.M. *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modelling of pollution spreading in the environment]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1997. 368 p.
11. Berlov O.V. Atmosphere protection in case of emergency during transportation of dangerous cargo. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2016, no. 1 (61), pp. 48-54. doi: 10.15802/stp2016/60953.
12. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 2011, pp. 87-91. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_15.
13. Mitran G. The identification of major factors from road traffic which produce the air pollution and presentation of the current stage of the research in road traffic modeling and air pollution from road vehicles. PhD Scientific Report No. 1. University of Pitesti. Pitesti, Romania, 2011, pp. 60-63.
14. Ooka R., Murakami S., Iizuka S. Wind – tunnel test of gaseous diffusion in street canyon with thermal stratification. *Wind Engeneering into the 21st Century*, 1999, vol. 2, pp. 781-786.
15. Sathe Y.V. Air Quality Modeling in Street Canyons of Kolhapur City, Maharashtra, India. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 2012, vol. 2, issue 2, pp. 97-105.
16. Xianxiang Li. Large-Eddy Simulation of Wind Flow and Air Pollutant Transport inside Urban Street Canyons of Different Aspect Ratios. Posgraduated Thesis. University of Hong Kong, Pokfulam, Hong Kong, 2008. P. 205. doi: 10.5353/th_b4068732.

Статья рекомендована к публикации д.физ.-мат.н., проф. С. А. Пичуговым (Украина);
д.т.н., проф. С. З. Полищуком (Украина)

Поступила в редколлегию: 01.09.2016

Принята к печати: 01.12.2016

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 351/353-047.58:004

О. М. ПІШНЬКО^{1*}, В. В. СКАЛОЗУБ^{2*}

^{1*}Каф. «Управління проектами, будівлі та будівельні матеріали», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, ел. пошта pshinko@r.dit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

^{2*}Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта skalozhubtk@gmail.com, ORCID 0000-0002-1941-4751

ЗАСТОСУВАННЯ РЕЙТИНГОВИХ МОДЕЛЕЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ АДМІНІСТРАТИВНО-ТЕРИТОРІАЛЬНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Мета. У науковій роботі необхідно розглянути розвиток рейтингових моделей та відповідних інформаційних технологій, призначених для вирішення комплексу задач сфери стратегічного планування адміністративно-територіальних об'єднань, а також багатокритеріального управління експлуатацією неоднорідних класів багатопараметричних об'єктів. **Методика.** При вирішенні завдань стратегічного планування адміністративно-територіального розвитку та управління неоднорідними класами контрольованих об'єктів застосовується комплекс узгоджених методів. А саме – багатокритеріального аналізу властивостей об'єктів планування і управління, діагностики параметрів стану, прогнозування та управління складними системами різних класів, стани яких оцінюються наборами різноякісних показників, а також представляються індивідуальними моделями процесу функціонування. Для реалізації комплексу завдань стратегічного планування та управління запропоновано і створено інформаційну технологію, яка містить процедури вирішення типових завдань, що реалізовані на основі програмного забезпечення MS SQL Server. **Результати.** Запропоновано підхід до формування моделей аналізу та управління класами складних систем на основі рейтингових оцінок. Отримано розвиток рейтингових моделей з аналізу багатопараметричних і багатокритеріальних систем, керування якими виконується на основі параметрів поточного та прогнозованого станів, шляхом розподілу неоднорідних ресурсів. Розроблено процедуру аналізу чутливості рейтингової моделі до змін параметрів розподілу неоднорідних ресурсів. Створено інформаційну технологію стратегічного планування та управління неоднорідними класами об'єктів на основі моделі рейтингових оцінок. **Наукова новизна.** У статті запропоновано підхід до використання сукупності різнорівневих показників рейтингування як загальної моделі для стратегічного планування розвитку та управління неоднорідними класами об'єктів, які можуть бути охарактеризовані наборами параметрів, вимірюваних за різними шкалами. При цьому контроль за окремими елементами реалізується шляхом побудови і застосування індивідуальних інтелектуальних моделей процесів функціонування. Запропоновано процедуру оцінки достовірності прогнозування на основі методу багатовимірної лінійної екстраполяції. **Практична значимість.** Запропонований метод стратегічного планування розвитку складних систем на основі рейтингових моделей, а також розроблена інформаційна технологія створюють комплекс автоматизованих засобів для забезпечення ефективного економіко-технологічного управління множинами неоднорідних класів багатопараметричних об'єктів. В інформаційній технології рейтингового оцінювання реалізовано процедури вирішення типових завдань із стратегічного планування розвитку та управління складними об'єктами (визначення рейтингу, аналіз чутливості, кластеризація, діагностування, прогнозування, розподіл ресурсів, багатокритеріальний вибір ін.). Застосування запропонованої інформаційної технології дозво-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ляє автоматизувати завдання аналізу та стратегічного планування розвитку адміністративно-територіальних комплексів. Технологія може бути застосована для контролю, аналізу, стратегічного планування та управління розвитком одночасно декількох типів складних систем.

Ключові слова: адміністративно-територіальне управління; класи систем; стратегічне планування; рейтингова модель; багатокритеріальний аналіз; неоднорідні ресурси; інформаційна технологія; індивідуальна модель функціонування

Вступ

У роботі виконано розвиток моделей для стратегічного планування розвитку складних соціально-економічних, адміністративно-територіальних, виробничо-технічних та інших систем, а також методів і інформаційних технологій (ІТ) по їх управлінню на основі узагальнених рейтингових оцінок [2, 5, 6]. При цьому враховується основний принцип формування системного управління, яке повинно відповідати вимогам і критеріям забезпечення сталого розвитку. Основою розроблених моделей і ІТ є особливості завдань і моделей управління на основі рейтингових оцінок (РО). Це викликано тим, що проблеми керованого розвитку складних соціально-економічних утворень тісно пов'язані з обмеженими можливостями формалізації задач управління. У багатьох випадках тут мають місце слабоформалізовані завдання в області подання даних, моделювання і відповідно – управління. Причинами виникнення таких типів завдань є надзвичайно висока складність розглянутих об'єктів управління, а також притаманних їм комплексів умов невизначеності. Методологічна та інформаційна підтримка таких процесів управління повинна реалізуватися шляхом виділення і формулювання базового набору типових задач, які забезпечуються відповідними вихідними даними. Засоби ІТ створюють умови для реалізації методів розв'язання визначеної базової сукупності типових задач, а також для формування та підтримки в актуальному стані необхідної інформаційної бази.

У розглянутих задачах управління складними об'єктами можуть бути виділені такі типові складові: умови, формулювання завдань, модельні форми відображення об'єкта аналізу, зв'язку між внутрішніми і зовнішніми елементами умов, встановлені та неявні залежності і обмеження, різноманітна часто неповна інформація про об'єкт ін. Кожному з перерахованих елементів можна поставити у відповідність властивості, що визначають слабку формаліза-

цію завдання в силу неповної інформації про умови та ін. Наявність в завданні планування або управління хоча б одного з перерахованих факторів невизначеності робить її слабоформалізованою, слабоструктурованою [4, 7, 8].

Основні труднощі створення пропонованої ІТ зумовлені комплексом завдань, пов'язаних з отриманням і управлінням неоднорідною інформацією, з багатокритеріальним аналізом діяльності, а також плануванням стратегії розвитку на основі рейтингових оцінок (далі ІТРО). Відмінною рисою об'єктів, для яких призначена ІТРО, є загальна структура інформаційної бази – системи різноякісних показників, що подають результати діяльності за деякі періоди (інші властивості системи), згруповані заданим способом. При цьому через численність набору розглянутих складових та ін., не існує загальної моделі системи управління. Для порівняння окремих елементів множин, на основі яких виконується аналіз властивостей системи і її складових, приймаються рішення по управлінню, вводяться правила оцінки та порівняння – рейтингові оцінки. За допомогою РО ранжуються елементи, що служать загальною відносною оцінкою якості елементів, а управління окремими елементами зв'язується з підвищенням рейтингу об'єкта у своєму класі. Автоматизоване розв'язання типових задач багатокритеріального вибору варіантів, управління множинами об'єктів, прогнозування параметрів складних систем на основі еталонів реалізовано на основі баз даних СУБД MS SQL Server [2, 13]. Така структура ІТРО відкриває можливість управління широким колом складних систем (Адміністративні Територіальні Об'єднання – АТО, підприємства, навчальні заклади, персонал та ін.) на основі загальної теоретичної і прикладної бази. Посилання на принцип сталого розвитку (як стратегічного завдання формованого управління) відображає вимогу щодо всебічного аналізу властивостей, поточних і перспективних потреб елементів систем. В цілому завданням створення ІТРО є забезпе-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

чення можливості підвищення обґрунтованості та дієвості планів розвитку складних соціально-економічних систем, процедур їх реалізації.

Мета

Метою роботи є розвиток рейтингових моделей та відповідних інформаційних технологій, призначених для розв'язання комплексу задач в області стратегічного планування розвитку адміністративно-територіальних об'єднань. Як засоби управління в ІТ передбачені методи багатокритеріального аналізу властивостей об'єктів управління, діагностики параметрів їх станів, кластеризації численних даних, прогнозування значень необхідних параметрів систем, на основі яких і формуються управління складними системами різних класів. Змістом пропонованої моделі та ІТ є використання правил «рейтингування» як моделі аналізу та управління. Далі в ІТ процес управління поданий сукупністю рішень типових задач, реалізація яких спирається на оптимізаційні процедури багатокритеріального ієрархічного і мережевого аналізу, розробленого Т. Сааті [8]. Для формування управління використовуються процедури діагностики станів об'єктів на основі мереж Кохонена [11], процедури узагальнення (кластерний аналіз [2, 3]), методи екстраполяційного прогнозування [7] з оцінкою достовірності розрахункових параметрів, а також планування розвитку системи на основі багатокритеріальної процедури ранжирування і впорядкування контрольованих об'єктів для «обслуговування» – вибору черговості виділення ресурсів, виконання робіт тощо.

Методика

У розділі для вирішення завдань стратегічного планування адміністративно-територіального розвитку застосовується комплекс узгоджених методів багатокритеріального аналізу властивостей об'єктів планування і управління, діагностики параметрів стану, прогнозування та управління складними системами різних класів, функціонування яких оцінюється наборами різноякісних показників. В першу чергу розвиваються методи та засоби для вирішення завдань аналізу і управління класами складних систем на основі моделей рейтингових оцінок. Зазначимо, що завдання управління складними орга-

нізаційно-технічними системами (ОТС) є одними із найбільш складних і відповідальних, тому що залежно від категорії системи впливають на ефективність функціонування значних адміністративно-територіальних об'єднань (АТО), підприємств різних галузей ін. [2, 5, 8.]. Для таких завдань характерним є потреба в аналізі значної кількості різномірних показників (десятки, сотні), відсутність моделі систем управління та необхідність застосування досвіду керівників. До категорії завдань, які можуть бути вирішені при цьому, належить також стратегічне планування розвитку АТО районного, міського та інших рівнів суспільного утворення відповідно до сучасної концепції сталого розвитку, а також створення необхідних засобів автоматизації на основі сучасних інформаційних технологій (ІТ) і відповідних систем. Одним із сучасних напрямків реалізації таких завдань є методи ділових ігор, які спрямовані на формування у керівників уяв щодо керованості, дієвості заходів управління тощо.

Запропоновані в роботі методики і відповідні засоби ІТРО можуть бути застосовані для досить широкого кола складних організаційно-технічних та інших систем, функціонування яких визначається великою кількістю показників. Підставою для розробки системи являється Постанова Кабінету Міністрів України від 20 червня 2007 р. № 833 «Про запровадження комплексної оцінки соціально-економічного розвитку Автономної Республіки Крим, областей, м. Києва та Севастополя» [7]. У ній визначено методику розрахунку рейтингових оцінок окремих АТО на підставі показників діяльності. Запропоновані засоби ІТРО переводять методику «рейтингування» у площину управління ОТС, у тому числі для цілей автоматизованого планування стратегії розвитку на основі порівнянь рейтингових оцінок.

Методика автоматизованого формування та оптимального планування стратегії розвитку включає систему показників діяльності АТО, структуру математичної моделі рейтингового оцінювання, сукупність математичних моделей і методів для вибору та аналізу ефективності заходів розвитку АТО, відповідне програмне забезпечення та ін. Як методи реалізації, призначені для планування стратегії розвитку АТО або ТІ, пропонуються ділові ігри – оптимальне планування вибору стратегій розвитку. Розроб-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

лені засади та структура ділової гри «Стратегії розвитку» на основі аналізу і подальшого формування стратегій розвитку, що відображає рейтингове оцінювання соціально-економічних показників. При цьому пропонуються кілька сценаріїв вибору стратегії, як набору головних показників, їх прогнозованих рівнів, а також систем обмежень ресурсів різних категорій, необхідних для розвитку.

Методами реалізації завдань із планування стратегії розвитку є: ділові ігри, порівняльний аналіз стратегій розвитку, оптимальне планування завдань вибору параметрів стратегій розвитку. Для вирішення завдань стратегічного планування пропонуються кілька сценаріїв аналізу стану системи та вибору стратегії – набору головних заходів, їх показників і їх прогнозованих рівнів, систем обмежень ресурсів різних категорій, необхідних для забезпечення сталого розвитку, а саме: сценарій С1: аналіз керованості – визначення найбільш впливових параметрів; С2: самоаналіз – аналіз ефективності заходів на попередніх етапах; С3: порівняльний аналіз, з урахуванням прогнозу розвитку територій; С4: оптимальне планування – розподіл обмежених ресурсів за сферами, а також між показниками розвитку окремої сфери.

Приклад сценарію порівняльного аналізу ділової гри для визначення стратегій розвитку АТО наведено на рис. 1. При цьому використовуються такі групи даних:

1. Значення показників W_{ij} що визначають розвиток АТО. $A_i, i = 1, 2, \dots, m$.
2. Оцінки питомих витрат для окремих показників.
3. Фінансово-економічні показники з урахуванням інфляції.
4. Заходи призначені для покращення показників $V = (V_1, V_2, \dots, V_S(X_S))$.

Методи ділових ігор, реалізовані у ІТ, дозволяють отримати та оцінити очікувані результати стратегічного планування. Вони також доповнюються засобами автоматизованої системи багатокритеріального аналізу (ієрархічна класифікація) та вибору заходів для планування стратегії розвитку (за методом аналізу ієрархій, Т. Сааті [8]), як складової системи підтримки прийняття рішень щодо стратегічного розвитку АТО, міської або промислової транспортної інфраструктури ін.

Особливість та ефективність ІТРО із формування управління на основі ділових ігор полягає у тому, що в них «управління» подано як вирішення системи відповідних завдань, які потребують використання обмежених ресурсів. Прикладами таких завдань є такі.

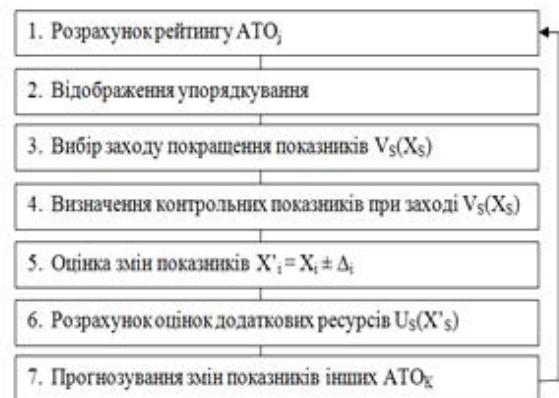


Рис. 1. Схема сценарію порівняльного аналізу для завдань стратегічного планування розвитку АТО

Fig. 1. Scheme script of comparative analysis for tasks of ATA strategic planning

Завдання І. Маючи встановлений (заданий) ресурс, необхідно визначити показник, а також величину його зміни (приріст/зменшення), що забезпечує найкращий (найвищий) очікуваний рейтинг АТО (Замкнена модель розподілу ресурсу. Розвиток методу – урахування кількох показників).

Завдання ІІ. Відкрита модель визначення та розподілу ресурсу. Встановлено бажаний рейтинг АТО. Необхідно визначити: мінімальний потрібний ресурс (систему ресурсів); показник (систему показників); мінімальну потрібну величину зміни показника (показників) (приріст/зменшення), що забезпечують встановлений рейтинг АТО.

Завдання ІІІ. Аналітичне, розрахункове. Вважаються відомими заплановані показники за визначеними сферами для перелічених (указаних) АТО. Необхідно розрахувати такі потрібні оцінки цих показників для деякої однієї АТО, значення яких дозволять мати рейтинг не менший, ніж встановлений.

Завдання ІV. Відкрита модель визначення необхідних рівнів та розподілу обмеженого ресурсу. Встановлено бажаний рейтинг АТО. Відомі заплановані рівні показники за визначені

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ними сферами для перелічених (указаних) АТО. Необхідно (за умов завдання III) визначити: мінімальний потрібний ресурс (систему ресурсів); показник (систему показників); мінімальну потрібну величину зміни показника (показників) (приріст /зменшення), що забезпечують встановлений рейтинг АТО. Перелік таких завдань можна продовжити.

Результати

Запропонований у роботі розвиток моделей управління на основі рейтингових оцінок визначається таким. У роботах [2, 6, 10] досліджувалися завдання керованого розвитку складних соціально-економічних утворень, вказано їх тісний зв'язок з обмеженими можливостями формалізації задач управління [1, 7, 14]. Головні причини виникнення таких типів (категорій, різновидів) завдань, які необхідно вирішувати при стратегічному плануванні та управлінні складними АТО та ін., полягають в різноманітності класів об'єктів, що мають специфічні характеристики, а також в існуванні комплексів умов невизначеності [3, 10, 11, 14]. Різноманітність і суттєва неоднорідність класів об'єктів управління істотно відрізняють і ускладнюють процедури планування розвитку та управління «експлуатацією» таких систем, в тому числі від завдань управління парками однорідних технічних та інших систем (локомотивів, вагонів, електродвигунів та ін.), коли враховуються значення параметрів їх поточного стану [3, 9, 10].

Формальною характерною відмінністю визначеного нами об'єкта управління є наявність декількох класів керованих об'єктів (категорій), що складаються з численних подібних елементів. Одночасно з цим ресурси з управління є загальними – неоднорідні, обмежені і кінцеві. Разом з тим деякі моделі, методики та автоматизовані засоби управління множинами технічних систем, парками, частково можуть бути використані для об'єктів АТО.

Важливою особливістю завдань управління на основі планування стратегічного розвитку складних систем є значні труднощі щодо встановлення критеріїв, які досить повно характеризували б в цілому процеси їх розвитку, тобто тут має місце невизначеність цілей управління. На практиці неможливо уявити комплексні,

багатогранні завдання розвитку великих міст, територій, персоналу, як реалізацію моделі деякого одного принципу, наприклад, «витрати – вигоди», «витрати – ефективність» тощо. Тому далі вважається, що найбільш доцільним для реалізації завдань раціонального (оптимального) управління системами, що розглядаються в цій роботі, є принцип «витрати – результати». Згідно з цим принципом раціональним слід вважати таке управління, яке забезпечує найбільші можливості позитивних змін в комплексі сфер, що характеризують функціонування міста, району, регіону, окремих підприємств, персонал і ін. [1, 2, 7]. Тут наочною і об'єктивною мірою досягнення результатів «розвитку» є зміна рейтингу.

У моделі, що розробляється, і ІПРО планування і управління, через значну складність об'єкта, одним з головних положень реалізації є використання правил та методики рейтингової оцінки (порівняльний аналіз) в якості комплексної моделі системи управління розвитком. Для цього за допомогою засобів автоматизації реалізують такі завдання: узагальнення даних на основі групування (кластеризація, визначення «близьких» між собою груп об'єктів) з метою застосування при управлінні однакових стратегій дій; багатокритеріальний оптимальний вибір, як основа для формування раціональних планів управління; прогнозування на основі прототипів (еталонів, прецедентів і т.д.) засобами екстраполяції, що дозволяє на ранніх етапах формування прогнозів визначити оцінки ресурсів, значення параметрів та ін.; аналіз чутливості (впливовості) рівнів значень окремих показників на загальний рейтинг складної системи; модель діалогового аналізу (в формі ділової гри) керованості комплексом показників діяльності системи; – процедура планування на основі застосування оптимального розподілу ресурсів.

У своїй сукупності зазначені і низка інших завдань, реалізовані в ІПРО, забезпечують можливість вирішення широкого спектра завдань управління розвитком в різних сферах застосування відповідно до принципу «витрати – результати».

Задачі та загальна структура інформаційної технології ІПРО, як автоматизованого формування і оптимального планування стратегії розвитку, включають: методики з реалізації завдань планування стратегії розвитку (ділові іг-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ри, порівняльний аналіз, оптимальне планування параметрів стратегії розвитку); систему показників для оцінки діяльності або властивостей об'єктів; математичні моделі рейтингового оцінювання та аналізу ефективності управління, заходів та ін.; програмне забезпечення по автоматизації завдань аналізу, прогнозування та планування. Кожне з перерахованих завдань – певний сценарій дослідження властивостей об'єктів як системи показників, що узагальнюється на основі рейтингових моделей. Методи РО доповнюються засобами автоматизованого багатокритеріального аналізу (ієрархічна класифікація) і вибору заходів з планування стратегії розвитку (MAI) [8], як складових системи підтримки прийняття рішень щодо стратегічного розвитку АТО і ін.

Зазначимо ще одну функцію планування розвитку і управління класами неоднорідних об'єктів, реалізовану в удосконаленій рейтинговій моделі, а саме: впорядкування на основі розрахунку рейтингу дає послідовність «обслуговування» окремих елементів класів, формує структуру для вибору раціонального управління. Зрозуміло, що при такому підході до трактування «рейтингу» для кожної окремої задачі планування і управління необхідна розробка власної системи показників, шкал вимірювань параметрів і ін., Проте загальний зміст і процедура вибору управління матиме подібну, рейтингову структуру.

Структура програм ІТРО забезпечує автоматизоване рішення наступних завдань у сфері управління складними системами: управління декількома базами даних; автоматичне дослідження властивостей чутливості, як зміна рейтингу системи при зміні рівнів значень параметрів, а також графічне відображення показників чутливості; багатокритеріальний аналіз і вибір управління на основі MAI [8] і модифікацій цього методу; автоматичний відбір на основі міри Журавльова [1] системи багатопараметричних прототипів, екстраполяційне прогнозування значень показників для нових умов [2, 1], зі статистичною оцінкою достовірності очікуваного результату; кероване узагальнення, «стиснення» даних – їх групування в кластери. Перераховані завдання можуть використовуватися для різних категорій систем, поданих в базах даних комплексу ІТРО.

Основна форма рейтингової оцінки визначається відповідно до [5], тому в ІТРО викорис-

тана така модель рейтингових оцінок

$$R_j = \sum_{i=1}^{n_1} \frac{X_{\max-i} - X_{ij}}{\Delta_i} + \sum_{i=1}^{n_2} \frac{X_{ij} - X_{\min-i}}{\Delta_i}, \quad (1)$$

де X_{ij} – оцінка i -го показника для j -го об'єкта; $\Delta_i = (X_{\max-i} - X_{\min-i})$; n_1 – показники, які потребують підвищення значень при раціональному керуванні; n_2 – показники, що потребують зниження раціональних значень, $n = n_1 + n_2$.

Розглянемо загальну форму моделі ресурсів в задачах планування розвитку систем. При реалізації завдань оптимального розподілу ресурсів в ІТРО використані такі лінійні моделі

$$W_j^{(k)} = \sum_{i \in I(k)} \Delta X_{ij}^{(k)} C_{ij}^{(k)} \leq U_j^{(k)}, \quad (2)$$

де k – категорія ресурсу j -го об'єкта аналізу, що враховується в плані; $C_{ij}^{(k)}$ – питомі витрати ресурсу $W_j^{(k)}$, віднесені до вимірювань зміни показника ΔX_{ij} на одиницю; $U_j^{(k)}$ – граничне значення ресурсу, $k = 1, 2, \dots, m$.

Прикладом завдання порівняльного аналізу і розподілу ресурсів, передбаченого в ІТРО, є таке. Вважаючи відомими заплановані значення деяких заданих показників для частини (всіх) об'єктів, необхідно оцінити необхідні значення цих же показників для конкретного об'єкта так, щоб він отримав загальний рейтинг не менший, ніж заданий, а також визначити рівні необхідних для цього ресурсів.

Розглянемо питання автоматизації прийняття рішень із вибору керувань на основі методу аналізу ієрархій та кластеризації. В цей час MAI [4, 8] стає міждисциплінарним напрямком, приймає статус стандарту, забезпечуючи багатокритеріальне управління складними системами. У ІТРО реалізована як стандартна процедура MAI, так і його мережеві форми, які розраховані на багато користувачів, а також версія, що реалізує уточнену процедуру перевірки узгодженості даних. Така модифікація MAI пов'язана з тим, що (як показав числовий експеримент) узгодженість для таблиць великих розмірів в MAI ніколи не може бути досягнута. Це призвело до необхідності введення не однієї, а кількох таблиць для розрахунків показників відносної узгодженості, уточнюючих про-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

цедуру МАІ. У [2] наведено приклад моделі МАІ для багатокритеріального вибору технологічного процесу переробки відходів.

До задач аналізу та керування класами подібних об'єктів відносять різноманітні завдання контролю та управління множинами територій, підприємств, установ, персоналу ін. Мета: визначення груп подібних між собою об'єктів для встановлення і аналізу загальних властивостей об'єктів (контрольоване узагальнення показників і виключення відмінностей); розрахунків прогнозних оцінок системи визначених показників; застосування спільної стратегії управління до груп (фінансування ін.). Ступінь подібності (близькості) значень показників об'єктів визначається за мірою Журавльова. Наприклад, подібність може визначатися на основі порівнянь абсолютних значень i -го показника (для кожного вказаного):

$$I x_i^{(k)} - x_i^{(s)} I \leq \rho_i, \quad (3)$$

де ρ_i – діапазони зміни i -го показника, який вважається не суттєвим (визначає керівник, експерт).

На основі значення розбіжностей між окремими характеристиками об'єктів формується загальна оцінка їх ступеня відмінності (міра Журавльова) на основі порівняння усіх параметрів об'єктів:

$$B = \sum_{i=1}^m b_i W_i, \quad W_i - \text{коефіцієнт ваги}$$

впливу показника. Якщо умова близькості (3) виконується, то $b_i = 1$. Порядок вирішення задачі аналізу та управління множинами об'єктів: – вибір системи показників, що впливають на групування об'єктів; визначення характеристик подібності оцінок показників (порогу близькості); вибір кількості близьких показників для формування груп подібних об'єктів.

Ступінь подібності оцінок показників, визначений у формі міри Журавльова [1] – зважене значення, нормоване за середнім:

$$2(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) / (x_i^{(1)} + x_i^{(2)}) \leq \delta_i.$$

Для аналізу та управління множинами об'єктів (території, установи, персонал тощо) в ІТРО застосовуються процедури методу висхідної багаторівневої кластеризації [4, 11, 13]. При цьому ступінь подібності («близькості»

значень показників об'єктів визначається відповідно до міри Журавльова [2, 1]. Пропонується застосування загальної стратегії управління для елементів групи (фінансування, розподіл ресурсів, заохочення та ін.). На рис. 3 наведено приклад вікна програми ІТРО з результатами кластеризації багатопараметричних об'єктів.

На рис. 5 наведено аналіз екологічного стану районів Дніпропетровської області на основі еколого-стабілізуючих показників (лісистість, % до земельного фонду; частка пасовищ у земельному фонді, %; частка земель рекреаційного призначення до земельного фонду, %; водний фонд до земельного фонду). Діаграма визначає номери груп подібних за параметрами районів, до яких можна застосовувати «приблизно однакові» заходи з керування.

При стратегічному плануванні розвитку та керуванні складними системами у багатьох випадках вирішуються задачі прогнозування параметрів на основі еталонів або попередньо відомих аналогів. Такі завдання ефективно вирішуються на основі процедур багатовимірної лінійної екстраполяції [7]. При цьому ставиться мета: розрахувати прогнозні оцінки результуючих показників нового варіанта системи за відомими значеннями показників кількох варіантів – еталонів. Процедура застосовується для: отримання прогнозу за відсутності достатньої кількості статистичних даних (про параметри еталонів, проектів ін.); отримання орієнтовних значень вартості та термінів виконання проектів; відновлення невідомих характеристик технічних та організаційних систем; оцінки кадрового потенціалу та необхідних ресурсів для зростання; оцінки достовірності зібраних статистичних даних ін.

Подібність показників районів визначена у наочній формі дендрограм, приклад групування районів наведено на рис. 5.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

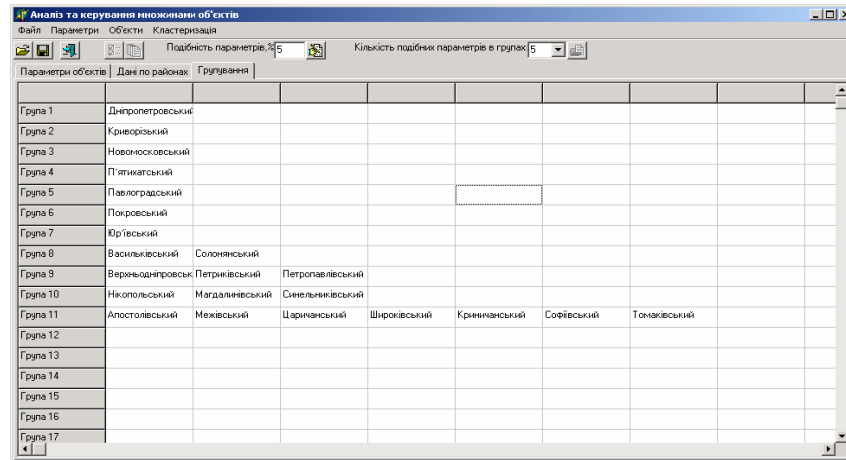
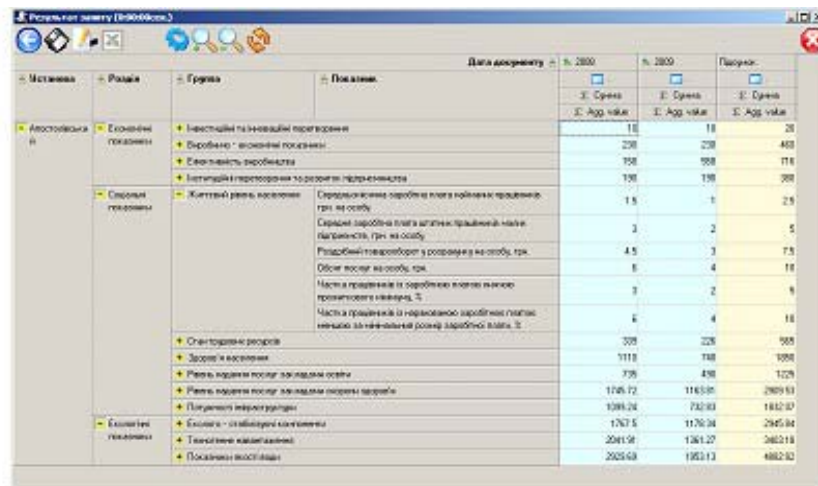
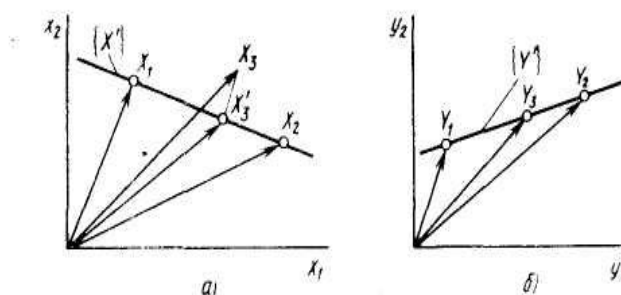
Рис. 2. Вікно програми для визначення групування об'єктів
(число близьких параметрів – 5, сформовано груп – 11).Fig. 2. The program window to determine the grouping of objects
(Including some options – 5, formed groups – 11).

Рис. 3. Вікно програми для подання багатовимірних даних

Fig. 3. The program window for multidimensional data presenting

Рис. 4. Схема методу лінійної екстраполяції:
а – простір вихідних ситуацій; б – простір рішеньFig. 4. Method scheme of linear extrapolation:
а – initial space situations; б – space of decisions

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

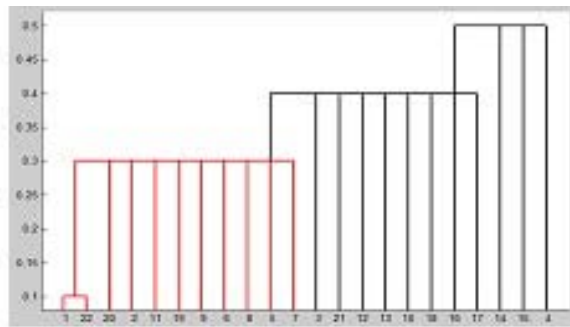


Рис. 5. Дендрограма подання результатів кластеризації об'єктів

Fig. 5. Dendrogram presenting the results of objects clustering

В ІТРО реалізовані завдання автоматичних розрахунків прогнозних оцінок результуючих показників нового варіанта системи з відомими значеннями частини показників і умов на основі використання декількох відомих варіантів – еталонів (прототипів). Для цього використовується процедура лінійної екстраполяції рис. 4 [7], де прототипи відбираються з бази даних автоматично, використовуючи метрику Журавльова або інші методи [1, 11, 13], за вихідними дані про шуканий варіант, з оцінкою достовірності прогнозного значення.

Для оцінки адекватності багатовимірних лінійних моделей екстраполяційного (БЛЕ) прогнозування (див. рис. 4) параметрів контрольованих неоднорідних класів об'єктів застосовуємо процедуру, запропоновану для автоматизованої експлуатації парків однорідних технічних систем, електричних двигунів (ЕД) [2, 3, 10]. При експлуатації парків ЕД формуються бази індивідуальних моделей (БІМ-ЕД), які зберігають послідовність значень контрольованих параметрів. Для оцінки прогнозованих значень, крім власної індивідуальної моделі (ІМ), виконується відбір множини «подібних» ЕД із БІМ-ЕД, реалізується загальна процедура оцінки прогнозних показників станів ЕД:

1. За даними ІМ із БІМ-ЕД відбирається множина «подібних» $\{\bar{X}_{ЕДk}\}$, використовуючи моделі Кохонена або визначені процедури співставлення зразків [11, 13].

2. На основі $\{\bar{X}_{ЕДk}\}$ формується множина варіантів прогнозних за БЛЕ значень заданого вихідного параметра. Комбінування елементів $\{\bar{X}_{ЕДk}\}$ дозволяє отримати набір підмножин, які

використовуються для розрахунку серії прогнозних оцінок $\{Y_{MLE}(\bar{X})\}$, а також визначення статистичних параметрів прогнозування за БЛЕ.

3.3 використанням $\{Y_{MLE}(\bar{X})\}$, $\{\bar{X}_{ЕДk}\}$ формується (МРГ) $\Delta Y(\bar{X}) = F(Y_{MLE}(\bar{X}))$ регресійна модель залежності відхилення параметрів станів ЕД від прогнозів на основі методу БЛЕ, див. рис. 5. Точність МРГ вважається також і точністю наступних прогнозів на основі БЛЕ.

4. Отримана модель МРГ перевіряється на адекватність [4] і використовується для прогнозування станів контрольованого ЕД на основі $\{\bar{X}_{ЕДk}\}$ та БЛЕ, рис. 4.

Загальний вигляд МРГ, яка використовується для розрахунків очікуваних значень параметрів деякого ЕД з власною ІМ процесу експлуатації, а також з множиною «прототипів» поточного стану контрольованого ЕД наведено на рис. 5. Модель регресії має вигляд

$$\Delta Y(\bar{X}) = 126,05 - 0,8Y_{MLE}(\bar{X})$$

та встановлює зв'язок між результатами прогнозування $Y_{MLE}(\bar{X})$ на основі БЛЕ, рис. 4, а також можливими значеннями відповідних відхилень вихідного параметра $\Delta Y(\bar{X})$. За критерієм Фішера на рівні значущості $\beta = 0,05$ підтверджує адекватність моделі МРГ [4]. Такі моделі використовують для прогнозування і подальшого планування процесів експлуатації парків ЕД.

Зазначимо, що при формуванні баз знань БІМ-ЕД ураховувалися такі вхідні $\{X_k\}$ та вихідні $\{Y_j\}$ параметри процесів експлуатації. Вхідні параметри: період часу після обслуговування ЕД, період часу після останнього діагностування, значення параметрів на основі огляду, розрахункові характеристики спектра струму на попередніх кроках $(t-1)$, $(t-2)$; оцінки параметрів зовнішнього середовища на етапах $(t-2)$, $(t-1)$; оцінки достовірностей типових видів несправності ЕД. Вихідні параметри: очікуваний період до відмови ЕД; очікувана величина вартості ремонту ЕД; оцінки достовірності щодо визначення станів ЕД. Зрозуміло, що при завданнях управління окремими класами об'єктів

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

АТО системи показників будуть змінюватися, але сама процедура визначення прогнозованих параметрів з оцінкою ступеня достовірності буде однаковою або типовою.

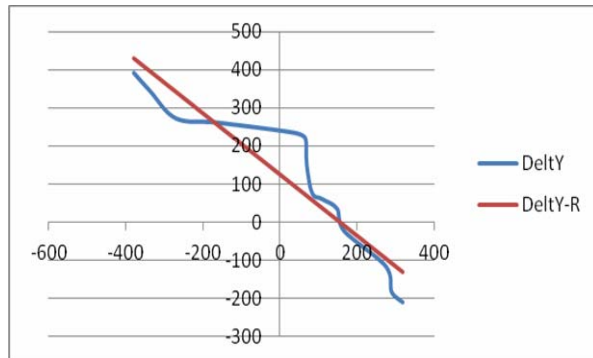


Рис. 6. Графіки залежності відхилень прогнозованих значень параметрів об'єктів (БЛЕ-екстраполяція, рис. 4) від вимірюваних показників

Fig. 6. Graph of deviations predicted parameters of objects (MLE-extrapolation, 4) of measurable indicators

Як зазначалось, автоматизоване формування та оптимальне планування стратегії розвитку включає: 1) систему показників діяльності АТО; 2) структуру математичної моделі рейтингового оцінювання; 3) сукупність математичних моделей і методів для аналізу ефективності та вибору заходів щодо розвитку територій; 4) програмне забезпечення із автоматизації та ін. Наведемо приклади застосування ІТРО для реалізації сценаріїв планування та управління АТО. На рис. 7 наведено вікно програми для відображення результатів багатокритеріального аналізу на основі методики МАІ [8].

Приклад реалізації завдань за сценарієм 1: аналіз керованості – визначення найбільш впливових показників. Мета: визначити сфери і систему показників, зміна значень яких найбільш суттєво впливає на рейтинг АТО, як у рамках окремої сфери діяльності, так і на їх загальний рейтинг, визначений для всіх сфер разом.

Сфера споживчого ринку. Показник «Абсолютний приріст обсягу реалізованих послуг на одну особу до відповідного періоду попереднього року, гривень». Вплив зміни показника на рейтинг – при незначній зміні показника із 40 (деяке зростання, максимальне – понад 500 грн) до 80 встановлюється така динаміка рей-

тингових оцінок (ранжування районів): при зміні 40 => 80 рейтинг по сфері не змінився: 3 => 3, але загальний із 6 став 5; при зміні 40 => 0 рейтинг по сфері змінився: 3 => 4, але загальний залишився 6; при зміні 40 => 500 рейтинг по сфері змінився: 3 => 2, загальний також став 2.

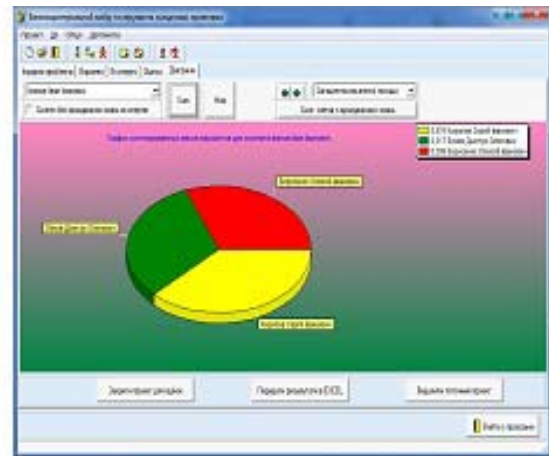


Рис. 7. Вікно програми для подання результатів багатокритеріального вибору за МАІ

Fig. 7. The window for presenting the results of multi criteria choice by MAI

Сценарій 2: самоаналіз – ефективність на попередніх етапах. Мета: визначити недоліки попередніх етапів, а саме – встановити сфери і систему показників у них, які можливо було покращити, причому зміни значень яких найбільш суттєво впливала на рейтинг АТО. Сфера інвестиційної та зовнішньоекономічної діяльності, Павлоградський район. За статистичними даними відсутній розвиток (рівень 0) показників: «Темп зростання (зменшення) обсягу експорту товарів, % до відповідного періоду попереднього року», «Темп зростання (зменшення) обсягу імпорту товарів, % до відповідного періоду попереднього року». Відповідно, низьким виявився і рейтинг району за сферою – 15. Наприклад, була встановлена несвочасність подання даних або не всі можливості впливу на показники сфери були використані. Необхідно визначити рейтинг району у разі покращення управління.

Вплив зміни показника на рейтинг – при малому рівні зростання показника від 0 до 100 встановлюється така динаміка рейтингових оцінок: при зміні обох 0 => 100 рейтинг по

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

сфері змінився: $15 \Rightarrow 13$, разом з тим і загальний рейтинг із 6 став 3; при зміні обох $0 \Rightarrow 200$ рейтинг по сфері змінився: $15 \Rightarrow 9$, разом з тим і загальний рейтинг із 6 став 2. Таким чином, виявляється суттєвий вплив показника на загальний рейтинг району, навіть без інших показників усіх сфер.

Прикладами завдань ІТРО із порівняльного аналізу та оптимального планування стратегії розвитку області як складу АТО є: розподіл обмеженого ресурсу (декількох видів також) між багатьма АТО. При цьому встановлено граничні рівні на обсяги використання ресурсів визначених категорій. Відомі рівні показники за визначеними сферами діяльності перелічених АТО або області у цілому. Необхідно визначити розподіл ресурсів між окремими АТО, який забезпечить загальний рейтинг області найвищий можливий при загальному ресурсі, – розподіл ресурсів між окремими АТО та сферами діяльності, який забезпечить рейтинг області не менший, ніж встановлений.

Одним із головних типів завдань оптимального планування стратегії розвитку АТО є наступне: визначити потрібні обсяги ресурсів різних категорій, а також спосіб їх розподілу відповідно до встановленого рейтингу АТО.

Наукова новизна та практична значимість

У статті запропоновано використання показників рейтингування як деякої загальної моделі для стратегічного планування розвитку і управління неоднорідними класами об'єктів, зокрема АТО. Запропоновано процедуру оцінки достовірності прогнозування на основі методу багатовимірної лінійної екстраполяції.

Запропонований метод стратегічного планування розвитку складних систем на основі рейтингових моделей, а також розроблена інформаційна технологія, створюють комплекс автоматизованих засобів для забезпечення ефективного економіко-технологічного управління множинами неоднорідних класів багатопараметричних об'єктів. Застосування цієї інформаційної технології ІТРО дозволяє автоматизувати завдання аналізу та стратегічного планування адміністративно-територіального розвитку. Планування і керування об'єктами в ІТРО базується на вирішенні типових завдань, запропо-

нованих у роботі. При цьому контроль за окремими елементами реалізується шляхом побудови і застосування індивідуальних інтелектуальних моделей процесів функціонування. Також вона може бути застосована для широкого кола інших класів складних об'єктів, які можуть бути охарактеризовані наборами параметрів, вимірюваних за різними шкалами. Суттєвою відмінністю таких завдань управління, в тому числі процесами експлуатації парків технічних систем, являється існування групи класів, до яких може бути застосована однакова інформаційна технологія, представлена у статті.

Висновки

У роботі розвинуто підхід до формування рейтингових моделей стратегічного планування розвитку та управління складними системами, які подані різноманітними класами, що містять множини елементів, а також щодо управління ними за рахунок розподілу неоднорідних ресурсів. Об'єкти контролю характеризуються наборами показників різних категорій, вимірюваних у різних шкалах. Для розрахунку порівняльної оцінки якості управління застосовуються правила визначення рейтингу, які утворюють загальну модель управління класами об'єктів. Створена інформаційна технологія рейтингового оцінювання, в якій реалізовано процедури вирішення типових завдань із стратегічного планування розвитку та управління складними об'єктами (аналіз чутливості, кластеризація, діагностування, прогнозування, розподіл ресурсів, багатокритеріальний вибір ін.). технологія може бути застосована для контролю, аналізу, стратегічного планування та управління одночасно декількома типами складних систем. При цьому відзначається можливість використання деяких типів індивідуальних інформаційних моделей процесів експлуатації технічних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: теория, синтез, эффективность / В. А. Тарасов, Б. М. Герасимов, И. А. Левин, В. А. Корнейчук. – Киев : МАКНС, 2007. – 336 с.
2. Информационная технология диагностики, прогнозирования и управления устойчивости

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

- вым развитием сложных систем на основе рейтинговых оценок / В. В. Скалозуб, В. А. Андрущенко, С. Ю. Разумов [и др.] // Системні технології : регіон. міжвуз. зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2011. – № 5 (76). – С. 178–185.
3. Исследование диагностических признаков стрелочных электроприводов переменного тока / С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова, А. М. Безнарытний // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 4 (52). – С. 7–22. doi: 10.15802/stp2014/27341.
4. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування : підручник / В. М. Геець, Т. С. Клебанова, О. І. Черняк [та ін.]. – Харків : ІНЖЕК, 2005. – 396 с.
5. Про запровадження комплексної оцінки соціально-економічного розвитку Автономної Республіки Крим, областей, м. Києва та Севастополя : постанова Кабінету Міністрів України від 20 черв. 2007 р. № 833. – Київ, 2007.
6. Пшинько, А. Н. Проблемы и информационные технологии социально-экономического управления на железнодорожном транспорте Украины / А. Н. Пшинько, В. В. Скалозуб // Проблеми та перспективи розвитку залізн. трансп. : тези доп. 74 міжнар. наук.-практ. конф. / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 210–212.
7. Растрингин, Л. А. Экстраполяционные методы проектирования и управления / Л. А. Растрингин, Ю. П. Пономарев. – Москва : Машиностроение, 1986. – 120 с.
8. Саати, Т. Метод Анализа Иерархий / Т. Саати, Е. Кернес. – Москва : Радио и связь, 1991. – 352 с.
9. Скалозуб, В. В. Економіко-технологічні моделі аналізу і управління експлуатацією парків електричних двигунів залізничних стрілочних переводів / В. В. Скалозуб, В. М. Осовик, І. В. Клименко // Проблеми економіки транспорту : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 9. – С. 129–137.
10. Скалозуб, В. В. Методи інтелектуальних систем в задачах управління парками об'єктів залізничного транспорту по текущему состоянию / В. В. Скалозуб, О. М. Швець, В. Н. Осовик // Питання прикладної математики і математичного моделювання : зб. наук. пр. / Дніпропетр. нац. ун-т ім. Олеся Гончара. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 40–47.
11. Kohonen, T. Self-Organizing Maps / T. Kohonen. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001. – 501 p. doi: 10.1007/978-3-642-56927-2.
12. McCue, C. Data Mining and Predictive Analysis, Second Edition: Intelligence Gathering and Crime Analysis / C. McCue. – 2nd ed. – Butterworth-Heinemann, 2015. – 422 p. ISBN: 0128002298, 9780128002292.
13. Rutkowski, L. Metody i techniki sztucznej inteligencji. Inteligencja obliczeniowa / L. Rutkowski. – Warszawa : Wydawnictwo naukowe PWN, 2005. – 435 s. ISBN 83-01-14529-3.
14. Witten, I. H. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques / I. H. Witten, E. Frank, M. A. Hall. – 3^d ed. – San Francisco : Morgan Kaufmann, 2011. – 664 p. ISBN 0123748569.

А. Н. ПШИНЬКО^{1*}, В. В. СКАЛОЗУБ^{2*}

^{1*}Каф. «Управление проектами, здания и строительные материалы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, эл. почта pshinko@r.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

^{2*}Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, эл. почта skalozhubtk@gmail.com, ORCID 0000-0002-1941-4751

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЙТИНГОВЫХ МОДЕЛЕЙ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Цель. В научной работе необходимо рассмотреть развитие рейтинговых моделей и соответствующих информационных технологий, предназначенных для решения комплекса задач сферы стратегического планирования административно-территориальных объединений, а также многокритериального управления эксплуатацией неоднородных классов многопараметрических объектов. **Методика.** При решении задач стратегического планирования административно-территориального развития и управления неоднородными классами контролируемых объектов применяется комплекс согласованных методов. А именно – многокритериального анализа свойств объектов планирования и управления, диагностики параметров состояния, прогнозирования и управления сложными системами различных классов, состояния которых оцениваются наборами разнокачественных показателей, а также представляются индивидуальными моделями процесса функционирования. Для реализации комплекса задач стратегического планирования и управления предложена и создана информационная технология, которая содержит процедуры решения типовых задач, реализованных на основе программного обеспечения MS SQL Server. **Результаты.** Предложен подход к формированию моделей анализа и управления классами сложных систем на основе рейтинговых оценок. Получено развитие рейтинговых моделей анализа многопараметрических и многокритериальных систем, управление которыми выполняется на основе параметров текущего и прогнозируемого состояний, путем распределения неоднородных ресурсов. Разработана процедура анализа чувствительности рейтинговой модели к изменениям параметров распределения неоднородных ресурсов. Создана информационная технология стратегического планирования и управления неоднородными классами объектов на основе модели рейтинговых оценок. **Научная новизна.** В статье предложен подход к использованию совокупности разнородных показателей рейтингования как общей модели для стратегического планирования развития и управления неоднородными классами объектов, которые могут быть охарактеризованы наборами параметров, измеренных по разным шкалам. При этом контроль за отдельными элементами реализуется путем построения и применения индивидуальных интеллектуальных моделей процессов функционирования. Предложена процедура оценки достоверности прогнозирования на основе метода многомерной линейной экстраполяции. **Практическая значимость.** Предложенный метод стратегического планирования развития сложных систем на основе рейтинговых моделей, а также разработанная информационная технология создают комплекс автоматизированных средств для обеспечения эффективного экономико-технологического управления множествами неоднородных классов многопараметрических объектов. В информационной технологии рейтингового оценивания реализованы процедуры решения типовых задач по стратегическому планированию развития и управления сложными объектами (определение рейтинга, анализ чувствительности, кластеризация, диагностирование, прогнозирование, распределение ресурсов, многокритериальный выбор др.). Применение предлагаемой информационной технологии позволяет автоматизировать задачи анализа и стратегического планирования развития административно-территориальных комплексов. Технология может быть применена для контроля, анализа, стратегического планирования и управления развитием одновременно нескольких типов сложных систем.

Ключевые слова: административно-территориальное управление; классы систем; стратегическое планирование; рейтинговая модель; многокритериальный анализ; неоднородные ресурсы; информационная технология; индивидуальная модель функционирования

O. M. PSHINKO^{1*}, V. V. SKALOZUB^{2*}

^{1*}Dep. «Projects Management, Buildings and Construction Materials», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 46, e-mail pshinko@r.dit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

^{2*}Dep. «Computers and Information Technologies», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail skalozhubtk@gmail.com, ORCID 0000-0002-1941-4751

RATING MODELS AND INFORMATION TECHNOLOGIES APPLICATION FOR MANAGEMENT OF ADMINISTRATIVE-TERRITORIAL COMPLEXES

Purpose. The paper aims to develop rating models and related information technologies designed to resolve the tasks of strategic planning of the administrative and territorial units' development, as well as the tasks of multi-criteria control of inhomogeneous multiparameter objects operation. **Methodology.** When solving problems of strategic planning of administrative and territorial development and heterogeneous classes management of objects under control, a set of agreed methods is used. Namely the multi-criteria properties analysis for objects of planning and management, diagnostics of the state parameters, forecasting and management of complex systems of different classes. Their states are estimated by sets of different quality indicators, as well as represented by the individual models of operation process. A new information technology is proposed and created to implement the strategic planning and management tasks. This technology uses the procedures for solving typical tasks, that are implemented in MS SQL Server. **Findings.** A new approach to develop models of analyze and management of complex systems classes based on the ratings has been proposed. Rating models development for analysis of multicriteria and multiparameter systems has been obtained. The management of these systems is performed on the base of parameters of the current and predicted state by non-uniform distribution of resources. The procedure of sensitivity analysis of the changes in the rating model of inhomogeneous distribution of resources parameters has been developed. The information technology of strategic planning and management of heterogeneous classes of objects based on the rating model has been created. **Originality.** This article proposes a new approach of the rating indicators' using as a general model for strategic planning of the development and management of heterogeneous objects that can be characterized by the sets of parameters measured on different scales. At this the control of separate elements is realized by the way of individual mental models construction and application of functioning processes. The procedure for evaluating of the prediction reliability based on multivariate linear extrapolation method was proposed. **Practical value.** The proposed method of strategic planning of the complex systems' development based on rating models and developed information technology are representing the complex of automated tools to ensure effective economical and technological control of non-uniform sets of multiparameter objects. The new solutions of typical tasks of strategic planning and development of complex objects management procedure are implemented in the information technology of rating estimation (rating definition, sensitivity analysis, clustering, diagnostics, forecasting, resource allocation, multi-criteria analysis etc.). Application of the proposed information technology can automate the task of analysis and strategic planning of the administrative-territorial complexes. The technology can be used for monitoring, analysis, strategic planning and management of several complex system types simultaneously.

Keywords: administrative and territorial management; classes of systems; strategic planning; rating model; multi-criterial analysis; heterogeneous resources; information technology; individual model of functioning

REFERENCES

1. Tarasov V.A., Gerasimov B.M., Levin I.A., Korneychuk V.A. *Intellektualnyye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy: teoriya, sintez, effektivnost* [Intelligent Systems of Making Decisions Support: Theory, Synthesis, Efficiency]. Kyiv, MAKNS Publ., 2007. 336 p.
2. Skalozub V.V., Andryushchenko V.A., Razumov S.Yu. *Informatsionnaya tekhnologiya diagnostiki, prognozirovaniya i upravleniya ustoychivym razvitiyem slozhnykh sistem na osnove reytingovykh otsenok* [Information technology of diagnostics, prediction and control with sustainable development of complex systems on the basis of ratings]. *Rehionalnyi mizhvuzovskiy zbirnyk naukovykh robit «Systemni tekhnolohii»* [Regional Inter-university Collection of Scientific Papers «System Technologies»]. Dnipropetrovsk, 2011, no. 5 (76), pp. 178-185.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

3. Buryak S.Yu., Gavriluk V.I., Gololobova O.A., Beznarytnyy A.M. Issledovaniye diagnosticheskikh priznakov strolochnykh elektropriwodov peremennogo toka [Diagnostic features research of AC electric point motors]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 4 (52), pp. 7-22. doi: 10.15802/stp2014/27341.
4. Heiets V.M., Klebanova T.S., Cherniak O.I., Ivanov V.V., Dubrovina N.A., Stavitskiy A.V. *Modeli i metody sotsialno-ekonomichnoho prohnouzuvannia* [Models and methods of social and economic forecasting]. Kharkiv, INZhEK Publ., 2005. 396 p.
5. Pro zaprovadzhennia kompleksnoi otsinky sotsialno-ekonomichnoho rozvytku Avtonomnoi Respubliki Krym, oblasti, Kyieva ta Sevastopolia: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 20 chervnia 2007 r. No. 833 [On introduction of a comprehensive assessment of social and economic development of the Autonomous Republic of Crimea, regions in Kyiv and Sevastopol: Resolution of the Cabinet of Ministry from June 20, 2007, No. 833]. Kyiv, 2007.
6. Pshinko A.N., Skalozub V.V. Problemy i informatsionnyye tekhnologii sotsialno-ekonomicheskogo upravleniya na zheleznodorozhnom transporte Ukrainy [Questions and information technologies of social and economic control at railway transport of Ukraine]. *Tezy dopovidei 74 mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii: «Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu»* [Proc. of 74th Sci. and Practical Conf. «Problems and Perspectives of Railways Transport Development»]. Dnipropetrovsk, 2014, pp. 210-212.
7. Rastrigin L.A., Ponomarev Yu.P. *Ekstrapolyatsionnyye metody proyektirovaniya i upravleniya* [Extrapolation methods of design and management]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1986. 120 p.
8. Saati T., Kernes Ye. *Metod analiza ierarkhiy* [Hierarchy Analysis Method]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1991. 352 p.
9. Skalozub V.V., Osovyk V.M., Klymenko I.V. Ekonomiko-tekhnolohichni modeli analizu i upravlinnia ekspluatatsiiei parkiv elektrychnykh dvyhunyv zaliznychnykh strilochnykh perevodiv [Economic and technological models of analysis and control of electric motors park operation for railway turnouts]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana: «Problemy ekonomiky transportu»* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan «The Problems of Transport Economics»]. Dnipropetrovsk, 2015, issue 9, pp. 129-137.
10. Skalozub V.V., Shvets O.M., Osovik V.N. Metody intelektualnykh sistem v zadachakh upravleniya parkami obektiv zheleznodorozhnogo transporta po tekushchemu sostoyaniyu [Methods of intelligent systems in the parks management tasks of railway transport objects on the current status]. *Zbirnyk naukovykh prats: «Pytannia prykladnoi matematyky i matematychnoho modeliuvannia»* [Proc. «Questions of Applied Mathematics and Mathematical Modeling»]. Dnipropetrovsk, 2014, pp. 40-47.
11. Kohonen T. Self-Organizing Maps. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001. 501 p. doi: 10.1007/978-3-642-56927-2.
12. McCue C. Data Mining and Predictive Analysis, Second Edition: Intelligence Gathering and Crime Analysis. 2nd ed. Butterworth-Heinemann, 2015. 422 p. ISBN: 0128002298, 9780128002292.
13. Rutkowski L. Metody i techniki sztucznej inteligencji. Inteligencja obliczeniowa. Warszawa, Wydawnictwo naukowe PWN Publ., 2005. 435 s. ISBN 83-01-14529-3.
14. Witten I.H., Frank E., Hall M.A. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. 3^d ed. San Francisco, Morgan Kaufmann Publ., 2011. 664 p. ISBN: 0123748569.

Стаття рекомендована до публікації д.ekon.н. Л. С. Головковою (Україна); д.ekon.н. Г. О. Крамаренко (Україна)

Надійшла до редколегії: 23.09.2016

Прийнята до друку: 05.12.2016

UDC 005.336.3:656.224

M. V. RUDENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Finance and Economic Security», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 74, e-mail chmv24@yandex.ua, ORCID 0000-0003-1135-0295

DEVELOPMENT OF PASSENGER TRAFFIC SERVICE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF RAILWAY ENTERPRISES

Purpose. At the present stage of development of Ukraine's economy, passenger traffic service quality management of railway enterprises became one of the main tasks to ensure their efficient operation. In terms of railway reforms and increased competition in the transport market, the discrepancies between the technological level of traffic and the growing needs of society and the quality standards of transport services, the priority is the establishment of quality management system for passenger traffic services in rail transport. This question should be considered in the paper. **Methodology.** To achieve this goal and ensure a high quality level of passenger traffic services in rail transport, which involves a combination of approaches to the position of consumers (determination of their satisfaction) and railway enterprises (measurement of results and formation processes of service quality), the paper proposed a passenger traffic service quality management system. The proposed methodical approach to formation of the passenger traffic service quality management system in rail transport implements a principally new scheme of interaction of elements during provision of services, where the inter-related resources (human, material, financial, information), means, instruments and processes result in creation of quality transport service. **Findings.** The efficiency of the passenger traffic service quality management system allows detecting the dynamic of improvement of the services provided by the railway enterprises and building the system which is self-learning on the principles of continuous improvement. The paper grounded new principles of the passenger traffic quality management, which were formed on the basis of general management principles, quality management principles and railway transport management principles. **Originality.** The work presents the developed passenger traffic service quality management system targeted to meet the expectations of passengers from transport process while taking into account the economic interests of railway enterprises. The basis of this system is conceptual principles, namely, goal, objectives, subject, object, principles, functions and practical recommendations, which generally determine the relationship of the basic elements of the passenger traffic service quality management in rail transport. **Practical value.** The practical value of the obtained by the author results is that their implementation will enable railway enterprises to forecast the improvement of service quality level, taking into account their specific features and create solutions for control and regulation of processes and passenger traffic service quality effects. The theoretical and methodological provisions may be used in the formation, operation and improvement of the quality management system for passenger traffic services in rail transport.

Keywords: quality; transport service; quality management system; passenger traffic; railway enterprises

Introduction

Passenger rail traffic has traditionally played great importance at every stage of development of Ukraine, both in the days of centralized management and at the stage of transition to the market management.

Much larger percentage of the population uses the services of passenger rail traffic rather than the freight transport services; therefore, it is the state of passenger traffic complex that forms the image of the country's rail system in the society.

The current situation in the Ukrainian railway transport sector is characterized by significant dynamic changes. The present transformation sets for the railway the new complicated tasks – not only to

ensure provision of transportation to the economy and population, but also to form a new, competitive segment of the railway business both in suburban and long-distance passenger transport sector, able to interact effectively with all stakeholders of the transportation process, continuously improve the quality of their work, despite the tariff restrictions and increased competitive pressure from other forms of passenger transport.

Improvement of passenger traffic service quality today and in the future is the basis for attracting passengers to rail transport and improve profitability regardless of ownership and the nature of the operation of passenger businesses. If previously

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

the main indicator of passenger traffic railway enterprises was a passenger-kilometer, today, the senior managers face the task of raising revenues through the highest quality services to meet the demand.

Purpose

The purpose of this article is feasibility evaluation of existing theoretical principles and guidelines and development of the new ones for establishment of the quality management system for passenger traffic services in rail transport.

Methodology

To achieve this goal and ensure a high quality level of passenger traffic services in rail transport, which involves a combination of approaches to the position of consumers (determination of their satisfaction) and railway enterprises (measurement of results and formation processes of service quality), the paper proposed a passenger traffic service quality management system.

The proposed methodical approach to formation of the passenger traffic service quality management system on railway transport implements a principally new scheme of interaction of elements during provision of services, where the inter-related resources (human, material, financial, information), means, instruments and processes result in creation of quality transport service.

The main provisions of the theoretical foundations of quality management services are presented in scientific works of domestic and foreign scholars, including: Aristov O. V., Basovskiy L. Ye., Hisin V. I., Hlichev O. V., Ihnatenko O. S., Ilienkov S. D., Koifman Yu. I., Mazur I. I., Okrepilov V. V., Redziuk O. M., Ukrainka L. O., Shvandar V. O., Fomichov S. K., Shapoval M. I., A. Feihenbaum, K. Isikava, T. Konti, Dzh. M. Dzhuran and many others, as well as the international standards ISO 9001 version 2008 and their identical Ukrainian national standards State Standards of Ukraine ISO 9001-2008 [3].

The quality of transport services is examined in the works by Barakhina V. M., Dykania V. L., Vorkuta A. I., Kryvoruchko O. M., Kudanova L. O., Kulaiev Yu. F., Lihum Yu. S., Mirotin L. B., Ostrovskiy N. B., Reva V. M., Soslovskiy V. H., Spirin Y. V., Sych Ye. M., Trykhunkov M. F.,

Ulitska I. M., Shynkarenko V. H., Shtanov V. F. and others.

Findings

One of the trends in the market of railway transport services is the differentiation of transport services by levels, capacities and needs of consumers, which in its turn necessitates the organization of the quality management system as the basis of efficiency and competitiveness of services provided to meet the requirements of consumers and assess the degree of compliance of this service quality to the requirements.

Therefore, finding ways to attract passengers, improving efficiency and quality of passenger traffic, as well as their management is a key focus of the reforms conducted in rail transport at this time.

The economy of rail transport as a system of production and logistic relationship has its own specificity, which is determined by the complexity of management – the railway sector, which consistently provides basic services of cargo or passenger transportation from point of origin to destination point in compliance with the four principles (accessibility, reliability, convenience, efficiency), and additional services – activities or works that do not affect the performance by rail of its primary function – delivery of cargo or passenger to the destination, but increase customer satisfaction from receiving the service (e.g., providing information, telephone service, selling tickets via the Internet or telephone, carrier service for passenger traffic, etc.). We propose a functional scheme of the provision of passenger traffic rail services, elements of which are marked by the functional feature (Fig. 1).

The structure of the main rail service includes not only the physical transportation of passengers, but also some other operations that normally belong to the service, and their availability and high performance are not considered mandatory, but merely desirable to improve the image.

At the present stage of development of Ukraine's economy, passenger traffic service quality management of railway enterprises became one of the main tasks to ensure their efficient operation. The need to improve the quality in modern conditions is dictated by several factors: changes in legislation, needs of scientific and technological progress, requirements of consumers, development

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

of domestic and international trade and ecological situation in the country, etc. Problems of domestic enterprises and environmental factors lead to a decrease in their competitiveness; therefore, it is very important to implement at railway enterprises the

modern service quality management systems intended to improve the technical and technological, organizational and economic processes.

The history of quality system development can be divided into six main stages (Table 1).

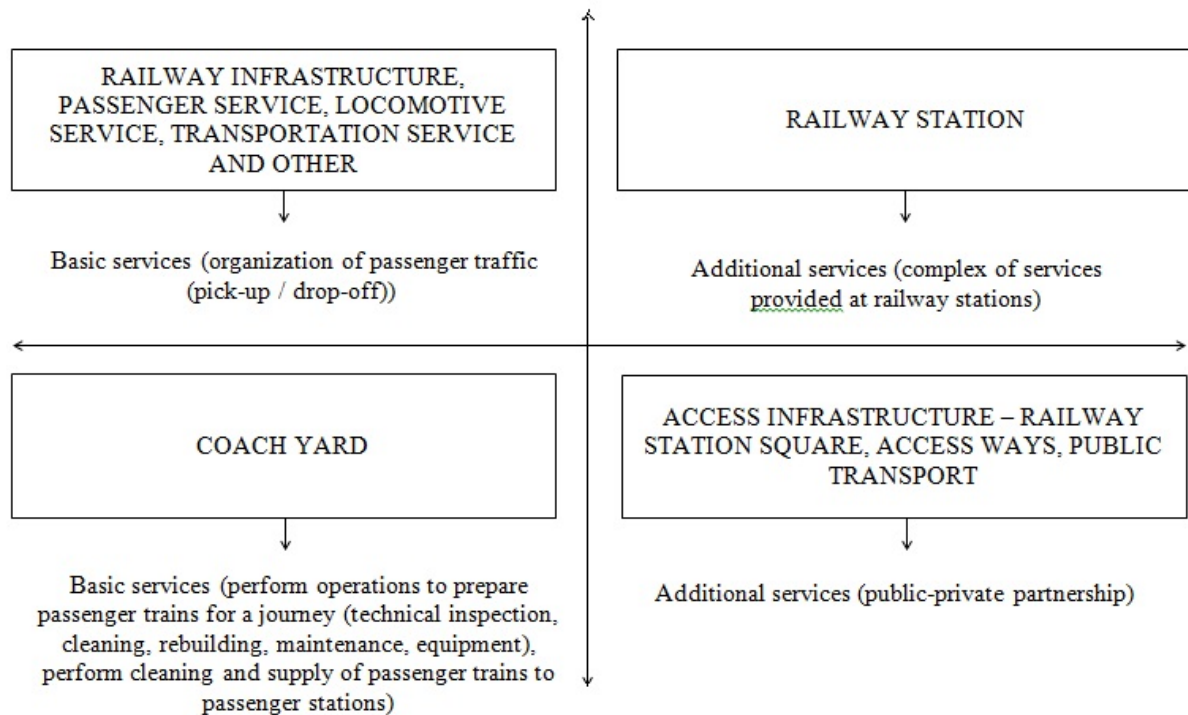


Fig. 1. Types of services provided to rail transport passengers (developed by the author)

Table 1

Historical stages of quality management system development

Stages of quality management system development	Characteristics of the stages of quality management system development
Stage 1. F. Taylor system (1900-1920)	The first stage corresponds to the initial stages of system approach to management, when the first management system, F. Taylor system appeared. To ensure the successful functioning of a management company the first professional specialists in quality, inspectors, were introduced. There was a system of staff motivation to improve the work quality, there were requirements laid down in the technical specification (TS), implementation of which was checked at the acceptance inspection. All properties of the Taylor system made it a management system of the quality of each individual product. The Taylor system played an important role in enhancing the productivity and quality of products or services provided. The disadvantage of the Taylor system is that it is functionally oriented, and therefore internally contradictory. Due to the fact that every employee performs only the functions determined for him, performs only his work, the defects, the deviations from the requirements, the incompliance of the manufactured product or services accumulate. Therefore, the quality of products or services is not the way it was planned.

Stages of quality management system development	Characteristics of the stages of quality management system development
Stage 2. SQC – Statistical Quality Control systems (1920-1950)	The second stage of development of quality management systems was associated with the transition to process-oriented management, in which the subject of administrative actions became the qualitative parameters of production processes. During this period, the methods of statistical quality control were being actively developed; the sampling control tools were being shaped. Designers, technologists and production workers had to solve more complicated tasks in the field of quality, because they constantly faced the problems of variation and variability and had to know what methods would allow achieving their reduction. In the chain «supplier-company-consumer» the greater role was played by standardized methods of statistical acceptance inspection.
Stage 3. TQC – Total Quality Control system (1950-1980)	The third stage is associated with the advent of total quality control system – TQC. At this stage, there were documented quality systems that establish accountability and authority, and determined engagement in the field of quality of all the management, not just quality specialists. Increasing attention was paid to staff training. In this period the systems and methods that had been developed in the Soviet Union acquired great importance.
Stage 4. TQM – Total Quality Management system (1980-1990)	The fourth stage is connected with transfer from TQC system to the system of total quality management (TQM). At this time, there appeared a series of new international standards for quality systems, including ISO 9000 standards and MC 9000. The main target orientation of the quality system that is based on ISO 9000 standards is to ensure the quality of products or services required by customer and to present the latter the evidence that the enterprise can maintain this quality. TQM
Stage 5. MBQ – Management by Quality (1990-2000)	The fifth stage of the quality management system began in the 90s of the twentieth century. Due to the fact that enterprises in carrying out their operation began increasingly to consider the interests of society, there appeared a new generation of quality standards ISO 14000 establishing requirements for the management system in terms of environmental protection and safety. As a result of these processes significantly increased the role of consumer quality parameters, and significantly strengthened the attention of management for companies and organizations to meet the needs of their own staff.
Stage 6. TQM and MBT (since 2000 till now)	ISO 9000 standards are being developed and updated. The development of quality management in view of industrial enterprise features through the development and application of specialized national and international standards of quality system creation. A large range of products, wider service offerings enable consumers' choice that is becoming more demanding in their tastes, which in turn leads to deepening of competition between manufacturers and to new approaches to meet the growing needs and expectations, and improved quality methods.

Source: generalized and systematized based on [5, p. 52, 7, p. 48, 8, p. 57]

Analysing Table 1, it can be seen that each stage begins with the introduction of a systematic approach to quality management. Development of quality management system includes first the determination of what processes and structures should be included in the quality system and what functions they must perform in order to ensure the required quality of service, and then the develop-

ment of the necessary regulations to carry out these functions.

Service quality management system is a set of organizational structures, methods, principles, instruments and incentives for installing, maintaining and, where necessary, improving the quality of services. Quality management system at railway transport is guaranteed by organizational, legal,

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

economic and social subsystems that carry out complex of measures aimed at ensuring the operation effectiveness and satisfaction of passengers' transportation requirements.

The organizational subsystem is a combination of organizational structure of passenger traffic service quality management, organization of production and labour, technical and technological service delivery, quality management system and operator's policy in the field of passenger traffic service quality. The legal subsystem provides for state regulation of the quality of services of passenger transportation, regulations governing the formation and determination of quality, legal, information and metrological support. The economic subsystem includes: passenger traffic services pricing, quality cost management and risk management, provision of universal services in terms of passenger traffic in the conditions of state pricing, availability of passenger traffic service quality management model, etc. The social subsystem introduces workers to control quality passenger transport services, motivation of workers in accordance with the performance standards of quality and social protection system.

The organization of works in service quality management in rail transport provides for a service quality assurance system and the necessary measures to ensure its effective functioning.

We believe that to create a quality management system for passenger traffic services, you must specify: management entity, object of management and the mechanism of service quality control, i.e. the process of influence of the entity on the object. Thus, the management entity is the basis of quality system – quality service at a railway enterprise (administrative staff, drivers of trains, personnel of services and internal training and control services), the responsibility of which is to achieve and maintain a specified level of quality service. The object of management is the process of providing the service, during which the quality is formed under the influence of management entity.

The goal of management is to ensure the established standards of service quality taking into account the economic interests of passengers and railway enterprises. When determining the management goal, it is necessary to specify a set of service features and the required level of its quality, and to find out whether they meet the needs of passengers. Then it is necessary to ensure the achievement of this goal at an acceptable level of

cost and profitability for a railway enterprise and affordability of service tariff to a passenger.

Satisfaction of a passenger during transportation can be achieved only with the harmony between the responsibility of the management, personnel and material resources of railway enterprises and structure of the quality system.

The managerial authority of rail transport is responsible for policy in the field of service quality and passenger satisfaction. Implementation of the policy depends on how well the management ensure development and effective operation of the quality management system.

The railway enterprise's policy in the field of quality defines the goals, objectives and principles of its activities, and its senior management commitment to quality.

The managerial authority of railway enterprises should develop and document the quality policy taking into account: class of services provided; tasks in the field of service quality; methods of implementation of tasks in the field of service quality; the role of personnel responsible for the implementation of the service quality policy.

Implementation of enterprise's policy in the area of service quality requires that when setting the tasks, the following basic goals were determined:

- Passenger satisfaction by continuously improved quality of services, ensured compliance with legal requirements;
- Continued compliance with the requirements and increased efficiency of the quality management system and its processes on the basis of decisions and actions based on analysis of actual data, operation and results of the monitoring and measurement of services, processes and quality management system as a whole;
- Continuous improvement of the processes that ensure provision of the services with best indicators of passenger satisfaction;
- Constant interaction with major operators on quality;
- Technical re-equipment through the use of modern technology and equipment and improvement on this basis of the quality of services;
- Rise of material interest and continuous improvement of social conditions of employees.

Based on the main goals the railway enterprise should formulate a set of the following tasks and

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

measures in the field of quality:

- Increased revenues from passenger service and provision of quality services;
- Marketing research of population demand for transportation services based on surveys, questionnaires, statistics;
- Creation of an expanded network of service centres;
- Licensing, standardization and certification of services in transport;
- Creation of automated information system network for reservation and sale of main and additional transport services;
- Economic feasibility study of fare for seats in certain types of cars and maintenance services;
- Registration of applications for basic and additional services in person, by phone, email, the Internet, visit to a home or business;
- Ensuring completeness and timeliness of settlements between a passenger and a railway enterprise;
- Ensuring technical and technological training of passenger rolling stock to travel;
- Information service for passengers on transport services, tariffs and prices;
- Collection and analysis of information on the quality of passenger service and quality of sold services, own and those of competitors;
- Improvement of existing and introduction of new of services on the basis of supply and demand;
- Ensuring strict compliance of services provided to passengers with international standards and requirements of customers;
- Training of highly qualified staff.

To perform the quality tasks by railway enterprises it is advisable to propose the structure of the quality management system, allowing for all stages of the provision of services to implement effective management of the service quality, to measure and improve it.

When forming the passenger traffic service quality management system one must take into account a number of principles (Fig. 2):

1. Technological principle. High quality of passenger transport services requires high technological performance of services by professionally trained personnel. This principle is realized through direct interaction of rail structures: passenger companies, stations, various urban transport services, catering services, as well as with the

mode of operation of hotels, cafes, restaurants, museums, exhibitions and other organizations.

2. Economic principle. Provides break-even operation and full cost recovery of fixed corporate service departments. To implement this principle, it is important to determine the correct price and amount of services to be sold, which will allow achieving the balance of income and expenditure.

3. Marketing principle. The basic principle of market orientation of service must be targeted, high-quality, timely and reflect the desires and needs of passengers. The workers of production departments need to master the art of passenger service, continuously improve the technology of service, reduce cost, accelerate service without reducing quality, and value their customers.

4. Logistic principle. It is a safe «door to door» carriage of passengers in the shortest possible time with maximum comfort which provides a full range of services throughout the chain, from the onset wish to travel to journey completion. Travel arrangements can be divided into several parts or operations: purchase of a ticket, the trip from place of residence to the station and delivery of luggage, travel by train and the trip from the station to the destination (business travel, vacation, treatment). All of the operations are inter-connected for a passenger and independent for the service railway structures, they run separately and are not combined in a single service cycle, require a lot of consumption of time, effort and energy of the passengers. As a result, the journey instead of satisfaction of a passenger leaves a negative impression. Logistics service approach provides a full set of services that remove these problems from passengers, both in suburban and distant traffic.

5. Hospitality principle. Ways and quality of service should be the same for all paying customers. Understanding of passenger's needs, desire to serve him/her as a dear guest, to help and assist attracts customers because the well-served customer is a kind of «living ads» among his/her friends, co-workers and creates a positive image.

Satisfaction of passengers with traffic can be achieved only with the harmony between the responsibility of the management, personnel and material resources of railway enterprises and structure of the quality system.

Rail transport operation should be assessed from the standpoint of meeting the needs of pas-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

sengers, because they are not interested either in the rate of empty mileage or performance of the locomotive.

The process of passenger traffic service quality management includes fulfilment of the following functions:

- Forecasting. Analysis of trends in passenger traffic service quality of the railway enterprises; analysis of services in the present; identification of the main patterns of quality and extrapolation of trends;
- Planning. Identification of targets in the field of service quality; determination of the resources (human, material, financial, information) and the means by which it is possible to achieve the set targets of quality improvement;
- Organization. Streamlining of the object of management, identification of all components of service quality; creation of a single information-measuring system;
- Coordination. Solving of current issues and coordination of on-going activities to build passenger traffic service quality;

– Motivation. Development and taking the appropriate decisions that encourage staff to activities for ensuring quality performance of certain objectives of railway enterprises.

– Regulation. Taking operational decisions and their implementation in order to eliminate the deviations discovered as a result of service quality control; forming of methods for integrated assessment of passenger traffic service quality at the railway enterprises on the basis of adaptation of differentiated methods for assessing the quality of services;

– Control. Revealing the deviations from the planned passenger traffic service quality management processes; identifying the need to assess the quality of services (analysis, accounting, performance monitoring, questioning of users).

The passenger traffic service quality management system of railway enterprises is structurally considered as a set of managing and managed subsystems (entity and object of management) (Fig. 3, 4).

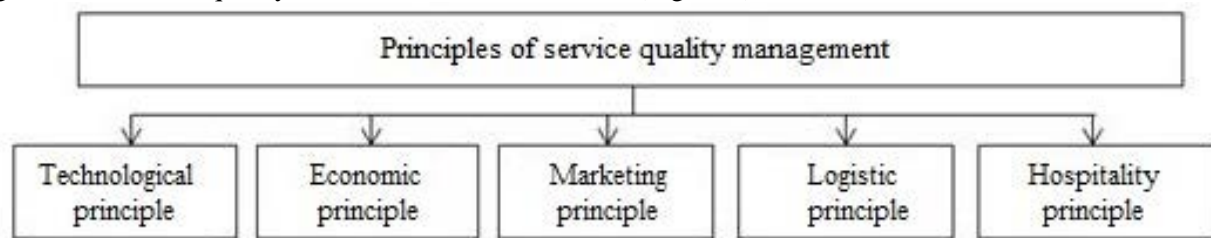
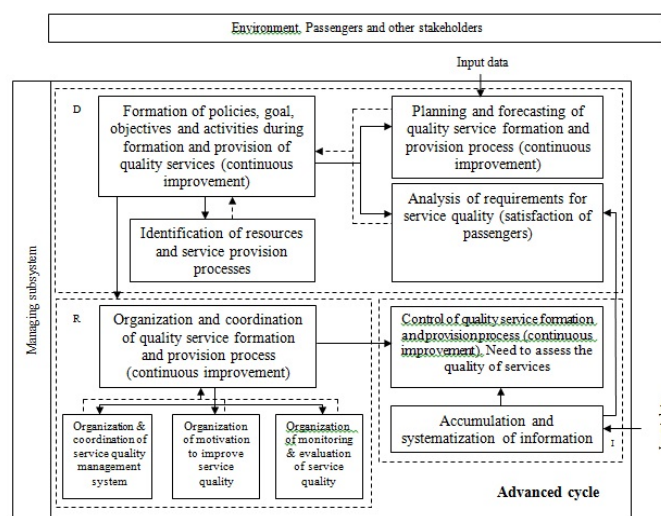


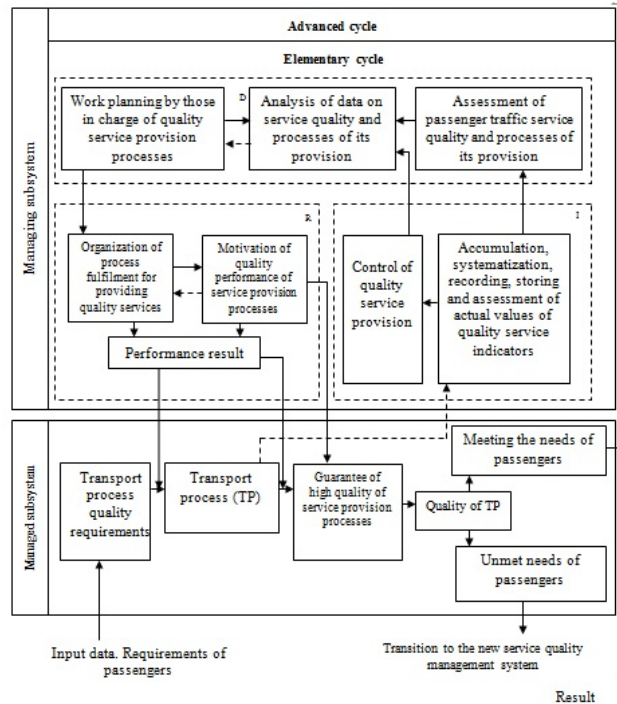
Fig. 2. Basic principles of passenger traffic service quality management system (developed by the author)



Source: adapted and developed in [1, p. 9]

Fig. 3. The passenger traffic service quality management system of railway enterprises, direct communication feedback. Advanced cycle

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ



Source: adapted and developed in [1, p. 9]

Fig. 4. The passenger traffic service quality management system of railway enterprises, direct communication feedback. Elementary cycle

The managing subsystem is presented in the form of relationship of two management cycles – Advanced (functions related to the development and mainstreaming of effective passenger traffic service quality management system of railway enterprises) and Elementary (management of quality of certain types of service providing processes) [1, p. 7].

The service quality management system covers all stages of the life cycle of passenger rail transport services: marketing and transport service market research, analysis of requirements to quality of services, planning and forecasting of services, service provision, service control and quality assessment process, passenger satisfaction study process.

The functions of passenger traffic service quality management by railway enterprises is divided into three main blocks: determining (D) – forecasting and planning functions; rendering (R) – organization, coordination, control, motivation functions; information-control (I) – control function (Fig. 3, 4) [1, p. 7].

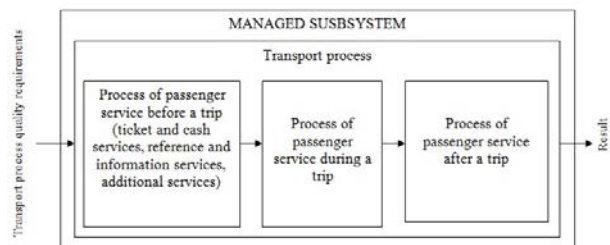


Fig. 5. The transport process of passenger traffic by railway enterprises

Analysis of the current passenger traffic service quality management system of railway enterprises is carried out to establish its compliance with State Standards of Ukraine ISO 9000:2007 and includes:

- Analysis of quality elements and their relationships as a part of a common set of services provided to passengers, including the basic service – carriage and maintenance services;
- Analysis of quality parameters for each separate service;
- Calculation and analysis of the average quality indicators;
- Comparing the quality from the position of a carrier and that of a passenger;

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

– Analysis of the «structural inclusion» of the quality of works into the quality of services and further – into the quality of the enterprise [3].

The quality tools include various methods and techniques for the collection, processing and presentation of quantitative and qualitative data of the passenger traffic services of the railway enterprises. All quality tools can be grouped by purposes of their use:

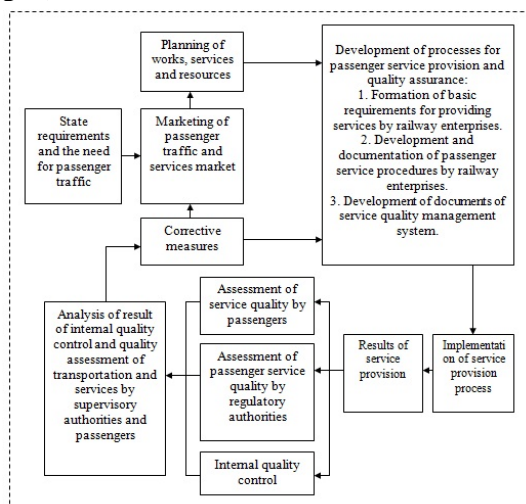
– Quality control tools. Without control one cannot control the quality and increase it. Most of the control tools are based on the methods of mathematical statistics;

– Quality management tools. The methods that basically use quality indicators of service, they can organize the information, structure it in accordance with certain logic rules and use it to make grounded management decisions;

– Quality analysis tools. The methods used to optimize and improve services;

– Quality design tools. The methods used to create services that realize maximum value for the consumer.

Within the quality management system it is necessary to develop the methodological approaches that establish requirements for the provision of service-related processes, including three basic processes (marketing, design and provision of services), operating in the «quality loop» (Fig. 6).



Source: generalized and systematized based on [9, p. 11]

Fig. 6. «Quality loop» of passenger traffic services of railway enterprises

The passenger traffic service quality management system of railway enterprises is an integral part of the rail transport management in general and operated simultaneously with this system. Interaction of quality system covers all stages of the «quality loop» from the study of variable demand for rail services to the final meeting of requirements of regulations or passengers' requirements to the quality.

Relationship of rail transport services with passengers and with all facilities that ensure the solution of service quality management tasks is realized with the help of «quality loop».

Analysis of capabilities to meet the requirements of passengers on the basis of available resources is conducted during the railway services market research. The result of the analysis of railway services market research is planning of works and resources necessary for their implementation, determination of activities of the railway enterprises.

The overall planning of quality assurance works is made during development of a comprehensive quality program, which shall contain the following sections: goals and objectives of railway enterprises for the next period; list and terms of measures, including the timing and volume of internal audits; specific assignment of responsibilities and powers of the staff of railway enterprises to implement the planned activities; plan of equipment upgrading or retrofitting; plan of staff training (advanced vocational training) (including the quality department staff); methodology for assessing the goal of the program; correction procedure of the program in case of non-compliance; plan of financing the quality assurance works.

Implementation of documentary provision of the selected activities is conducted when developing the passenger service provision and quality assurance processes (formation of the basic requirements for the provision of services by railway enterprises; development and documentation of passenger service procedures by railway enterprises; elaboration of service quality management system documents).

The documentation of service quality management system of railway enterprises is designed to ensure the unity and permanent understanding of the quality assurance goals and objectives, processes and procedures. It provides an opportunity

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

for an objective assessment of the quality system, allow solving the emerging controversial issues regarding quality.

The documentation of quality management system ensures the assignment of duties and responsibilities of management and executors on general quality management, establishes the procedure for interaction while fulfilling the functions and solving problems to ensure the quality of rail services.

Implementation of service provision covers the full range of processes for organization and provision of rail services; it can be subjected to additional controls at any stage of works both by the quality service of railway enterprises and by the public authorities. On the basis of analysis of the requirements for work quality and performed services one forms the corrective and preventive measures, which close the cycle (general feedback) of service provision by the railway enterprises.

Originality and practical value

The work presented the developed passenger traffic service quality management system targeted to meet the expectations of passenger from transport process while taking into account the economic interests of railway enterprises. The basis of this system is conceptual principles, namely, goal, objectives, subject, object, principles, functions and practical recommendations, which generally determine the relationship of the basic elements of the passenger traffic service quality management in rail transport. The practical value of the obtained results is that their implementation will enable railway enterprises to forecast the improvement of service quality level, taking into account their specific features and create solutions for control and regulation of processes and passenger traffic service quality effects. The theoretical and methodological provisions may be used in the formation, operation and improvement of the quality management system for passenger traffic services in rail transport.

Conclusions

For effective operation of rail transport, it is necessary not only to have different resources but also to develop the processes for provision of quality services and mechanisms of their interaction. So this shows the need to build a special system for

quality management, which is a set of organizational structure, distribution of authority and responsibilities, methods and resources required to establish, maintain and improve the quality of services of passenger rail transport.

Therefore, railway enterprises should always strive for the highest possible satisfaction of passengers' desires, expansion of variety of services, increase in volume of work, improvement of economic performance, increased goodwill by providing quality services on time and at competitive prices.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Василенко, Т. Є. Управління якістю послуг пасажирських підприємств автомобільного транспорту : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.07.04 / Василенко Тетяна Євгенівна ; Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2006. – 19 с.
2. Гарбузова, В. В. Управление качеством и сертификация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / В. В. Гарбузова. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2013. – 92 с.
3. ДСТУ ISO 9000:2007. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів. – На заміну ДСТУ ISO 9000-2001 ; надано чинності 2008-01-01. – Київ : Держпозживстандарт України, 2008. – 35 с.
4. Должанський, А. М. Менеджмент якості та системи управління якістю : навч. посіб. / А. М. Должанський, Н. М. Очеретна, І. М. Ломов. – Дніпропетровськ : Свідлер А. Л., 2011. – 450 с.
5. Мазур, И. И. Управление качеством: учеб. пособие / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро ; под ред. И. И. Мазура. – Москва : Высш. шк., 2003. – 334 с.
6. Моргулець, О. Б. Менеджмент у сфері послуг : навч. посіб. / О. Б. Моргулець. – Київ : Центр учбової літ-ри, 2012. – 384 с.
7. Підгаєць, П. П. Система управління якістю як інструмент вдосконалення діяльності органу місцевого самоврядування : метод. посіб. / П. П. Підгаєць, І. І. Бригілевич // Швейцар.-укр. проект «Підтримка децентралізації в Україні – DESPRO». – Київ, 2012. – 134 с.
8. Салимова, Т. А. Управление качеством : учеб. пособие по спец. «Менеджмент организации» / Т. А. Салимова. – 2-е изд., стер. – Москва : Омега-Л, 2008. – 414 с.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

9. Управління якістю інфокомунікаційних послуг : навч. посіб. / Є. Г. Борисевич, В. Г. Буряк, І. В. Станкевич, Є. М. Стрельчук. – Одеса : ОНАЗ, 2010. – 272 с.
10. Яновський, П. О. Пасажирські перевезення: навч. посіб. / П. О. Яновський. – Київ : НАУ, 2008. – 469 с.
11. Gronroos, C. From scientific management to service management: a management perspective for the age of service competition / C. Gronroos // Intern. J. of Service Industry Management. – 1994. – № 5. – Iss. 1. – P. 5–20. doi: 10.1108/09564239410051885.
12. Kotler, P. Principles of marketing / P. Kotler, G. Armstrong. – 14th ed. – New Jersey : Prentice Hall, 2012. – 740 p.
13. Rathmell, J. M. What is Meant by Service? / J. M. Rathmell // J. of Marketing. – 1966. – Vol. 30. – Iss. 4. – P. 32–36. doi: 10.2307/1249496.

М. В. РУДЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Фінанси та економічна безпека», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 74, ел. пошта chmv24@yandex.ua, ORCID 0000-0003-1135-0295

РОЗВИТОК СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПОСЛУГ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПІДПРИЄМСТВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Мета. На сучасному етапі розвитку економіки України управління якістю послуг пасажирських перевезень підприємств залізничного транспорту стало одним із головних завдань забезпечення їх ефективної діяльності. В умовах реформування залізничного транспорту та посилення конкуренції на ринку транспортних послуг, при невідповідності технологічного рівня перевезень зростаючим потребам суспільства та стандартам якості надання транспортних послуг, пріоритетного значення набуває проблема створення системи управління якістю послуг пасажирських перевезень на залізничному транспорті. Це питання необхідно дослідити в статті. **Методика.** Для досягнення поставленої мети та забезпечення високого рівня якості послуг пасажирських перевезень на залізничному транспорті, що передбачає поєднання підходів із позицій споживачів (визначення їх задоволеності) і підприємств залізничного транспорту (вимір результатів та процесів формування якості послуг), в роботі запропоновано систему управління якістю послуг пасажирських перевезень. Запропонований методичний підхід до формування системи управління якістю послуг пасажирських перевезень на залізничному транспорті реалізує принципово нову схему взаємодії елементів при наданні послуги, в якій воедино пов'язані ресурси (кадрові, матеріальні, фінансові, інформаційні), засоби, інструменти і процеси, в результаті здійснення яких виникає якісна транспортна послуга. **Результати.** Ефективне функціонування системи управління якістю послуг пасажирських перевезень дозволяє виявити динаміку поліпшень наданих послуг підприємствами залізничного транспорту та побудувати систему, що самонавчається на принципах постійного удосконалення. Обґрунтовано нові принципи управління якістю пасажирських перевезень, які були сформовані на основі загальних принципів управління в цілому, принципів управління якістю і принципів управління на залізничному транспорті. **Наукова новизна.** Розроблено систему управління якістю послуг пасажирських перевезень, орієнтовану на задоволення очікувань пасажирів від транспортного процесу з одночасним урахуванням економічних інтересів підприємств залізничного транспорту. Основою цієї системи є розроблені концептуальні засади, а саме – мета, завдання, предмет, об'єкт, принципи, функції, практичні рекомендації, які в цілому визначають взаємозв'язок основних елементів у системі управління якістю послуг пасажирських перевезень залізничним транспортом. **Практична значимість.** Практичне значення отриманих автором результатів полягає в тому, що їх реалізація дозволить підприємствам залізничного транспорту спрогнозувати підвищення рівня якості послуг із урахуванням їх конкретних особливостей та сформулювати рішення щодо контролю, регулювання процесів і результатів якості послуг пасажирських перевезень. Обґрунтовані теоретичні та методичні положення можуть бути використані при формуванні, функціонуванні й вдосконаленні системи управління якістю послуг пасажирських перевезень на залізничному транспорті.

Ключові слова: якість; транспортна послуга; система управління якістю; пасажирські перевезення; підприємства залізничного транспорту

М. В. РУДЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Финансы и экономическая безопасность», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 74, эл. почта chmv24@yandex.ua, ORCID 0000-0003-1135-0295

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ УСЛУГ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Цель. На современном этапе развития экономики Украины управление качеством услуг пассажирских перевозок предприятий железнодорожного транспорта стало одной из главных задач обеспечения их эффективной деятельности. В условиях реформирования железнодорожного транспорта и усиления конкуренции на рынке транспортных услуг, при несоответствии технологического уровня перевозок растущим потребностям общества и стандартам качества предоставления транспортных услуг, приоритетное значение приобретает проблема создания системы управления качеством услуг пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте. Этот вопрос необходимо рассмотреть в статье. **Методика.** Для достижения поставленной цели и обеспечения высокого уровня качества услуг пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте, предусматривающих сочетание подходов с позиции потребителей (определение их удовлетворенности) и предприятий железнодорожного транспорта (измерение результатов и процессов формирования качества услуг), в работе предложена система управления качеством услуг пассажирских перевозок. Предложенный методический подход к формированию системы управления качеством услуг пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте реализует принципиально новую схему взаимодействия элементов при предоставлении услуги, в которой воедино связаны ресурсы (кадровые, материальные, финансовые, информационные), средства, инструменты и процессы, в результате осуществления которых возникает качественная транспортная услуга. **Результаты.** Эффективное функционирование системы управления качеством услуг пассажирских перевозок позволяет выявить динамику улучшений предоставляемых услуг предприятиями железнодорожного транспорта и построить систему, которая самообучается на принципах постоянного совершенствования. Обоснованы новые принципы управления качеством пассажирских перевозок, которые были сформированы на основе общих принципов управления в целом, принципов управления качеством и принципов управления на железнодорожном транспорте. **Научная новизна.** Разработана система управления качеством услуг пассажирских перевозок, ориентированная на удовлетворение ожиданий пассажиров от транспортного процесса с одновременным учетом экономических интересов предприятий железнодорожного транспорта. Основой этой системы являются разработанные концептуальные основы, а именно – цель, задачи, предмет, объект, принципы, функции, практические рекомендации, которые в целом определяют взаимосвязь основных элементов в системе управления качеством услуг пассажирских перевозок железнодорожным транспортом. **Практическая значимость.** Практическое значение полученных результатов заключается в том, что их реализация позволит предприятиям железнодорожного транспорта спрогнозировать повышение уровня качества услуг с учетом их конкретных особенностей и сформировать решение по контролю, регулированию процессов и результатов качества услуг пассажирских перевозок. Обоснованные теоретические и методические положения могут быть использованы при формировании, функционировании и совершенствовании системы управления качеством услуг пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: качество; транспортная услуга; система управления качеством; пассажирские перевозки; предприятия железнодорожного транспорта

REFERENCES

1. Vasylenko T.Ye. *Upravlinnia yakistiu posluh pasazhyrskykh pidpriemstv avtomobilnoho transportu*. Avtoreferat Diss. [Management of the service quality of passenger automobile transport enterprises. Author's abstract.]. Kharkiv, 2006. 19 p.
2. Garbuzova V.V. *Upravleniye kachestvom i sertifikatsiya passazhirskikh perevozok na zheleznodorozhnom transporte* [Management of quality and certification of passenger transportations at the railway transport]. Khabarovsk, Izdatelstvo DVGUPS Publ., 2013. 92 p.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

3. *DSTU ISO 9000:2007. Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk terminiv* [State Standard of Ukraine ISO 9000:2007. Systems of quality management. The main principles and glossary]. Kyiv, Derzhpozhyvstandart Ukrainy Publ., 2008. 35 p.
4. Dolzhanskyi A.M., Ocheretna N.M., Lomov I.M. *Menedzhment yakosti ta systemy upravlinnia yakistiu* [Quality management and quality control systems]. Dnipropetrovsk, Svidler A.L. Publ., 2011. 450 p.
5. Mazur I.I., Shapiro V.D. *Upravleniye kachestvom* [Quality management]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2003. 334 p.
6. Morhulets O.B. *Menedzhment u sferi posluh* [Management in the service industry]. Kyiv, Tsentr uchbovoi literatury Publ., 2012. 384 p.
7. Pidhaiets P.P., Bryhilevych I.I. *Systema upravlinnia yakistiu yak instrument vdoskonalennia diialnosti orhanu mistsevoho samovriaduvannia* [Quality management system as a tool for improvement of local government]. Kyiv, TOV «Sofia-A» Publ., 2012. 134 p.
8. Salimova T.A. *Upravleniye kachestvom* [Quality management]. Moscow, Izdatelstvo «Omega-L» Publ., 2008. 414 p.
9. Borysevych Ye.H., Buriak V.H., Stankevych I.V., Strelchuk Ye.M. *Upravlinnia yakistiu infokomunikatsiinykh posluh* [Quality management of information and communication services]. Odesa, ONAZ Publ., 2010. 272 p.
10. Yanovskyi P.O. *Pasazhyrski perevezennia* [Passenger transportations]. Kyiv, NAU Publ., 2008. 469 p.
11. Gronroos C. From scientific management to service management: a management perspective for the age of service competition. *International Journal of Service Industry Management*, 1994, no. 5 (1), pp. 5-20. doi: 10.1108/09564239410051885.
12. Kotler P., Armstrong G. Principles of marketing. New Jersey, Prentice Hall Publ., 2012. 740 p.
13. Rathmell J. What is Meant by Service? *Journal of Marketing*, 1966, no. 30, pp. 32-36. doi: 10.2307/1249496.

Prof. Yu. S. Barash, Dr. Sc. (Ec.) (Ukraine); Prof. P. I. Koreniuk, Dr. Sc. (Ec.) (Ukraine)
recommended this article to be published

Accessed: Aug. 01, 2016

Received: Dec. 01, 2016

УДК 629.4.016

С. А. СЕМЕНОВ^{1*}, Е. В. МИХАЙЛОВ², А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР³

^{1*}Каф. «Логистическое управление и безопасность движения на транспорте», Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, пр. Центральный, 59А, Северодонецк, Луганская обл., Украина, 93400, тел. +38 (064) 522 89 76, эл. почта semen_orugt@mail.ru, ORCID 0000-0002-5236-4557

²Каф. «Логистическое управление и безопасность движения на транспорте», Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, пр. Центральный, 59А, Северодонецк, Луганская обл., Украина, 93400, тел. +38 (064) 522 89 76, эл. почта mikhailov_evv@mail.ru, ORCID 0000-0002-6667-5348

³Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, эл. почта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЛЕС ПЕРСПЕКТИВНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ РЕЛЬСОВЫХ ЭКИПАЖЕЙ

Цель. В статье необходимо определить технико-экономическую эффективность от использования колес перспективной конструктивной схемы в ходовой части рельсового экипажа (вагона). **Методика.** Эффективность использования колес перспективной конструктивной схемы за счет снижения сопротивления движению и износа гребней оценивается расчетными величинами годового экономического эффекта от внедрения и срока окупаемости затрат, необходимых для разработки и внедрения предложенного колеса. В составе единовременных затрат учитываются расходы, связанные с проведением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также дополнительные затраты, необходимые для изготовления колес перспективной конструктивной схемы. **Результаты.** В ходе вычислений и анализа экономической эффективности от внедрения колес перспективной конструктивной схемы, проведенных на основе исходных данных для Юго-Западной железной дороги, определена прибыль, которую возможно получить за счет снижения следующих эксплуатационных расходов: 1) затрат на обточку гребней колес колесных пар; 2) стоимости топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов; 3) стоимости простоя вагонов в текущем отцепочном ремонте; 4) затрат на ремонт и текущее содержание рельсового пути. Кроме того, может быть дополнительно высвобождено некоторое количество вагонов за счет снижения их простоя. Расчет чистого дисконтированного дохода осуществлялся со следующими допущениями: 1) расчетного периода; 2) ориентировочного увеличения стоимости колесной пары с колесами перспективной конструктивной схемы по сравнению с типовой, 3) значения прибыли за расчетный период, которое рассчитывалось путем вычисления среднего показателя (за вычетом затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы); 4) изготовления парка колесных пар с колесами новой конструктивной схемы. За рассматриваемый период получена расчетная величина чистого дисконтированного дохода и определен срок окупаемости проекта. **Научная новизна.** Авторами сделано обоснование подходов к совершенствованию конструктивной схемы колес, используемых в ходовой части рельсового экипажа (вагона). **Практическая значимость.** Методика расчета, предлагаемая в настоящей публикации, позволяет оценить технико-экономическую целесообразность использования колес перспективной конструктивной схемы в составе ходовых частей рельсовых экипажей.

Ключевые слова: затраты; колесо; оценка; показатели; прибыль; эффективность

Введение

Известно, что большая часть используемой в работе железнодорожного транспорта энергии расходуется на тягу поездов [1, 2, 5, 6, 11]. Для повышения энергетической эффективности рельсового транспорта (снижения количества потребляемых энергоносителей при том же или большем объеме перевозочной работы) целесо-

образно осуществлять мероприятия, направленные на снижение сопротивления движению поездов [3, 17, 19].

В работах [11, 13, 21] предложена перспективная конструктивная схема колеса, применение которого позволит уменьшить сопротивление движению рельсовых экипажей и снизить износ контактирующих поверхностей. При рассмотрении возможностей использования дан-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ного технического решения, помимо требований по безопасности, надежности конструкции и т.д. необходимо выполнить обоснование и с точки зрения экономической эффективности с учетом предполагаемых затрат и ожидаемого эффекта.

Цель

Определение технико-экономической эффективности использования колес перспективной конструктивной схемы в составе ходовой части рельсового экипажа (вагона).

Методика

Эффективность использования колес перспективной конструктивной схемы за счет снижения сопротивления движению и износа гребней оценивается расчетными величинами годового экономического эффекта от внедрения и срока окупаемости затрат, необходимых для разработки и внедрения колесных пар с предложенными колесами [4, 12]. В составе единовременных затрат учитываются расходы, связанные с проведением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также дополнительные затраты, необходимые для изготовления колес перспективной конструктивной схемы.

Результаты

Расчет и анализ экономической эффективности внедрения колесной пары с колесами перспективной конструктивной схемы в ходовой части четырехосного грузового вагона проведен на основе исходных данных для Юго-Западной железной дороги, полученных из ряда открытых источников [8, 9, 14]. Исходные данные для технико-экономической оценки представлены в табл. 1.

Прибыль от внедрения колес перспективной конструктивной схемы может быть получена за счет снижения следующих эксплуатационных расходов:

- затрат на обточку гребней колес колесных пар;
- стоимости топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов;
- стоимости простоя вагонов в текущем отцепочном ремонте;
- затрат на ремонт и текущее содержание рельсового пути.

Таблица 1

Исходные данные

Table 1

Initial data

Показатель	Обозначение	Единица измерения	Величина показателя
Протяженность сети железных дорог:			
– ПАО «Укрзалізниця»	$S_{уз}$	км	21 640
– Юго-Западная железная дорога (ЮЗЖД)	$S_{ЮЗЖД}$	км	4 668
Грузооборот на сети железных дорог:			
– ПАО «Укрзалізниця»	$G_{уз}$	млн ткм	195 054,4
– ЮЗЖД	$G_{ЮЗЖД}$	млн ткм	46 696,2
Ожидаемое снижение фактора износа в кривых участках пути	$\Delta\Phi$		0,3
Интенсивность износа в прямых по отношению к кривым участкам пути [8]	I		0,25
Отношение кривых радиусом 1 000 м и менее к общей длине железной дороги	$\rho_{уд}$		0,12
Средний срок службы колес	t	лет	4
Срок службы оси колесной пары вагона [7]	T_i	лет	15
Парк грузовых вагонов, эксплуатируемых на сети ПАО «Укрзалізниця» (данные 2014 г.)	N_v	шт	116 063

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Кроме того, может быть дополнительно высвобождено некоторое количество вагонов за счет снижения их простоя.

Согласно представленным в [9, 20] статистическим данным, процент выполненной работы на ЮЗЖД составил 23,9 % от общего грузооборота на сети дорог ПАО «Укрзалізниця» (данные 2014 г.). Удельное количество используемых при этом вагонов

$$N_{уд}^B = N_B \cdot \frac{A_{ЮЗЖД}}{100 \cdot S_{ЮЗЖД}} \cdot K_A \cdot K_{изб},$$

$$N_{уд}^B = 116063 \cdot \frac{23,9}{100 \cdot 4668} \cdot 0,35 \cdot 0,7 = 1,46 \text{ ваг./км.}$$

Доля относительного снижения износа гребней колес с учетом прямых участков пути определяется по формуле

$$K_{из} = 1 - \frac{(1 - \rho_{уд}) \cdot I + \rho_{уд} \cdot \Delta \Phi}{(1 - \rho_{уд}) \cdot I + \rho_{уд}}$$

$$K_{из} = 1 - \frac{(1 - 0,12) \cdot 0,25 + 0,12 \cdot 0,3}{(1 - 0,12) \cdot 0,25 + 0,12} = 0,25$$

Экономия от снижения затрат на обточку колес одного вагона рассчитывается по формуле

$$\Pi_{ПК} = \frac{(C_{об} \cdot n + C_{пер} + C_{нк}) \cdot m \cdot K_{из}}{t},$$

где m – число осей, $m=4$; $C_{об}$ – стоимость обточки колес, $C_{об} = 659$ грн; n – количество обточек за срок службы, $n=6$; $C_{пер}$ – стоимость переформирования колесной пары (по данным ООО «ДЕТАЛЬ ВАГОН» $C_{пер} = 6225$ грн [15]); $C_{нк}$ – стоимость новых колес,

$$C_{нк} = 27000 \text{ грн [18].}$$

$$\Pi_{ПК} = \frac{(659 \cdot 6 + 6225 + 27000) \cdot 4 \cdot 0,25}{4} = 9295 \text{ грн.}$$

Определим экономию от сокращения времени простоя вагонов в ремонте.

$$\Pi_{пр} = \frac{t_{об} \cdot Y \cdot e_{пр} \cdot K_{из}}{S \cdot M_B^{уд}},$$

где $t_{об}$ – норматив простоя вагона при обточке поверхности катания одной колесной пары с учетом времени на отцепку вагона и выкатку колесной пары, ($t_{об}=78$ часов [19]); Y – количество отцепок вагонов на ЮЗЖД по причине естественного износа, $Y = 533$ ваг [9]; $e_{пр}$ – стоимость одного часа простоя вагона, $e_{пр}=16$ грн/час [9, 10].

$$\Pi_{пр} = \frac{78 \cdot 533 \cdot 16 \cdot 0,25}{4668 \cdot 1,46} = 25 \text{ грн/ваг.}$$

Рассчитаем количество высвобожденных вагонов за счет сокращения времени простоя в текущем отцепочном ремонте после внедрения колесных пар с колесами перспективной конструктивной схемы:

$$\Pi_B = \Pi_B \cdot \left[\frac{t_{об} \cdot Y \cdot K_{из}}{T_{год} \cdot S \cdot M_B^{уд}} + \frac{\rho_{уд}}{v - \rho_{уд}} \right],$$

где Π_B – средняя стоимость вагона, $\Pi_B = 765000$ грн. [18]; v – средняя участковая скорость на ЮЗЖД, км/ч ($v = 47,1$ км/ч [9]); $T_{год}$ – количество часов работы (чистого движения) вагона в год.

Величина $T_{год}$ определялась исходя из полученных по справке от ПАО «Укрзалізниця» данных о времени оборота вагона по ЮЗЖД за 2015 год, которое составляет $t_{об} = 3,69$ суток.

Количество оборотов вагона за год

$$T_{об_год} = 365 / t_{об}.$$

$$T_{об_год} = 365 / 3,69 = 98,92 \text{ оборотов.}$$

Количество часов чистого движения вагона в год

$$T_{год} = T_{об_год} \cdot t_{в_ч},$$

где $t_{в_ч}$ – среднее время нахождения вагона в движении, $t_{в_ч} = 11,34$ ч.

$$T_{год} = 98,92 \cdot 11,34 = 1121,75 \text{ час.}$$

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

$$P_B = 765\,000 \cdot \left[\frac{78 \cdot 533 \cdot 0,25}{855,66 \cdot 4\,668 \cdot 1,46} + \frac{0,12}{47,1 - 0,12} \right] = 2\,994 \text{ грн.}$$

Согласно данным [9, 10, 18], объем выполненной ЮЗЖД работы за 2015 год – $V = 97,077$ млрд. ткм брутто, а количество электроэнергии, затраченное на тягу поездов в границах ЮЗЖД, составило 1 203 млн. кВт·ч [1]. Удельный расход электроэнергии при этом составил $A_{уд} = 132,82$ кВт·ч/10 тыс. ткм брутто.

Найдем экономию от снижения затрат на электроэнергию в расчете на один вагон:

$$\Delta Z_{ЭР/В} = \frac{A_{уд} \cdot V \cdot 10^5 \cdot C_{кВтч} \cdot K_{НУ} \cdot \rho_{уд}}{S \cdot M_B^{уд}},$$

где $C_{кВтч}$ – стоимость одного киловатт-часа электроэнергии на ЮЗЖД, ($C_{кВтч} = 2,37$ грн/кВт·ч); $K_{НУ}$ – коэффициент, отражающий уменьшение сопротивления движению в кривых. Проведенные ранее расчеты [11, 21] показали, что уменьшение сопротивления движению за счет применения колес перспективной конструктивной схемы в среднем составляет 15 %, то есть $K_{НУ} = 0,15$.

$$\Delta Z_{ЭР/В} = \frac{132,82 \cdot 9\,057\,284 \times 2,37 \cdot 0,85 \cdot 0,12}{4\,668 \cdot 1,46} = 7\,530 \text{ грн/ваг.}$$

Общая экономия на один вагон за счет внедрения в ходовой части вагона колесных пар с колесами перспективной конструктивной схемы составит:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = P_{ПК} + P_{ПР} + P_B + \Delta Z_{ЭР/В}$$

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = 9\,295 + 25 + 2\,994 + 7\,530 = 19\,844 \text{ грн.}$$

Расчет чистого дисконтированного дохода осуществлялся со следующими допущениями:

- расчетный период: с 2016 по 2032 год;
- ориентировочное увеличение стоимости колесной пары с колесами перспективной конструктивной схемы по сравнению с типовой – $\Delta C = 6\,000$ грн;

– значение прибыли за расчетный период рассчитывалось путем вычисления среднего показателя за вычетом затрат на НИР, ОКР и изготовление парка колесных пар с колесами новой конструктивной схемы (2016 и 2017 гг.), то есть

$$P = C \cdot O - Z,$$

где P – ожидаемая прибыль; C – цена единицы изделия; O – объем изготавливаемой продукции, $O = 500$ вагонов; Z – единовременные затраты на проведение НИР, ОКР и изготовление парка колесных пар с колесами новой конструктивной схемы;

– коэффициент приведения вычислялся по формуле [16]:

$$\alpha_t = (1 + E)^{-t},$$

где t – расчетный период времени; E – норма дисконта ($E = 30\%$ – оптимистический сценарий).

Чистый дисконтированный доход за расчетный период получен в размере $E = 14,85$ млн грн, что в пересчете на один вагон составляет $\Delta E = 29,7$ тыс. грн. В соответствии с расчетами, как показано на рис. 1, срок окупаемости проекта составит $T_{OK} = 4$ года 1 месяц.

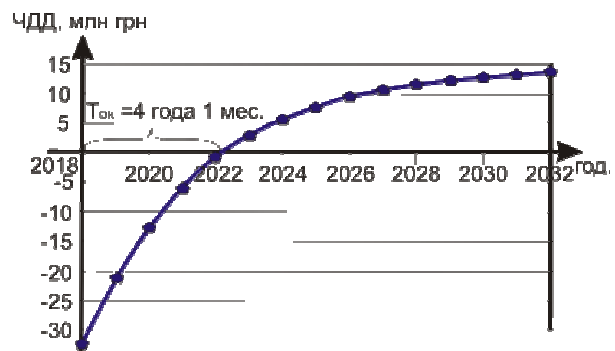


Рис. 1. Величина чистого дисконтированного дохода от внедрения колесных пар с колесами перспективной конструктивной схемы

Fig. 1. Net present value from introduction of wheelsets with wheels of perspective constructive scheme

Научная новизна и практическая значимость

Обоснованы подходы к совершенствованию конструктивной схемы колес, используемых в ходовой части рельсового экипажа (вагона).

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

По предлагаемой методике расчета оценена технико-экономическая эффективность использования колесных пар с колесами перспективной конструктивной схемы в составе ходовых частей рельсовых экипажей.

Выводы

В работе определена возможная экономия средств за счет внедрения колес перспективной конструктивной схемы в составе ходовых частей рельсовых экипажей по сравнению с типовыми колесами. За рассматриваемый расчетный период получена расчетная величина чистого дисконтированного дохода от внедрения колесных пар с колесами перспективной конструктивной схемы и определен расчетный срок окупаемости проекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аналіз роботи залізниць України з позиції впливу інтенсивності перевезень на знос інфраструктури / М. Б. Курган, І. П. Корженевич, Ю. С. Бараш, Н. І. Верхоглядова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 19. – С. 265–270.
2. Астахов, П. Н. Сопротивление движению железнодорожного подвижного состава / П. Н. Астахов. – Москва : Транспорт, 1966. – 178 с.
3. Блохин, Е. П. Повышенный износ колес и рельсов – важнейшая проблема транспорта / Е. П. Блохин, С. В. Мямлин, Н. И. Сергиенко // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 1. – С. 10–14.
4. Блохина, А. С. Метод оценки профилей колес подвижного состава / А. С. Блохина // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 26. – С. 176–181.
5. Голубенко, А. Л. Сцепление колеса с рельсом. – Луганск : ВУГУ, 1999. – 476 с.
6. Гуськова, И. В. Комплексная оценка параметров, характеризующих износ гребней бандажей колесных пар локомотивов в кривых : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Гуськова Марина Владимировна ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов-на-Дону, 1997. – 18 с.
7. ДСТУ 4835:2008. Колісні пари вагонів магістральних залізниць колії 1520 мм. Технічні умови (ГОСТ 4835-2006, IDT). – Київ : Держспоживстандарт, 2008. – 14 с.
8. Ейтутіс, Г. Аналіз продуктивності залізниць України / Г. Ейтутіс, О. Никифору, В. Карпов // Зб. наук. пр. Держ. економіко-технолог. ун-ту трансп. Серія: «Економіка і управління». – Київ, 2015. – Вип. 31. – С. 64–77.
9. Загальна інформація [Електронний ресурс] : Офіційний веб-сайт Укрзалізниці. – Режим доступу: http://uz.gov.ua/about/general_information/. – Загл. с екрана. – Проверено : 15.04.2016.
10. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом України : затв. Наказом М-ва транспорту та зв'язку України від 26 берез. 2009 р. N 317. [зі змінами]. – Київ, 2009. – 163 с.
11. Михайлов, Е. В. Снижение кинематического проскальзывания по рельсу колеса рельсового экипажа с подвижным гребнем / Е. В. Михайлов, В. А. Слащев, С. А. Семенов // Вестн. ВНУ им. В. Даля. – 2013. – № 18 (207), ч. 1. – С. 28–34.
12. Мямлин, С. В. Оценка экономической эффективности инвестиционного проекта для железнодорожного транспорта с использованием различных методов / С. В. Мямлин, А. С. Блохина, З. Х. Цечоева // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 32. – С. 268–273.
13. Пат. № 105612, кл. В 60 В 17/00. Колесо рейкового транспортного засобу / Михайлов Є. В., Горбунов М. І., Кравченко К. О., Семенов С. О. ; заявник і патентовласник СЧУ ім. В. Даля. – Заявл. 08.10.2015 ; опубл. 25.03.2016, Бюл. № 6. – 4 с.
14. Показники вантажних перевезень [Електронний ресурс] : Офіційний веб-сайт Укрзалізниці. – Режим доступу: http://uz.gov.ua/cargo_transportation/general_information/indicators_of_transit/. – Загл. с екрана. – Проверено : 11.11.2016.
15. Ремонт колесной пары [Електронний ресурс] : ООО «Детальвагон». – Режим доступа: <http://detalvagon.etov.com.ua/product/310303-remont-kolesnoy-pari.html>. – Загл. с екрана. – Проверено : 11.11.2016.
16. Сатклифф, М. Эффективная финансовая деятельность. Секреты финансовых директоров / М. Сатклифф, М. Доннелан ; пер. с англ. Д. А. Куликова ; под общ. ред. Д. А. Рябых. – Москва : Вершина, 2009. – 496 с.
17. Ткаченко, В. П. Кинематическое сопротивление движению рельсовых экипажей / В. П. Ткаченко. – Луганск : Изд-во ВУГУ, 1996. – 200 с.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

18. Филиал «Панютинский ВРЗ» ПАО «Укрзализныця» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://usv-ua.all.biz>. – Загл. с экрана. – Проверено : 11.11.2016.
19. Чупраков, Е. В. Снижение износа колес и рельсов за счёт дифференциального вращения колесных пар нетягового подвижного состава при движении в кривых участках пути : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Чупраков Егор Владимирович ; Науч.-исслед. ин-т ж.-д. трансп. – Москва, 2016. – 225 с.
20. ЮЗЖД отремонтировала свыше 4,5 тыс. грузовых вагонов [Электронный ресурс] : Центр транспортних стратегій. – Режим доступа : <http://cfts.com.ua/news/>. – Загл. с экрана. – Проверено : 25.04.2016.
21. Mikhailov, E. The possibility of reducing kinematic slip with two-point contacting with rail wheel railway vehicle / E. Mikhailov, S. Semenov, E. Panchenko // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, № 1. – P. 139–145.

С. О. СЕМЕНОВ^{1*}, Є. В. МИХАЙЛОВ², О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР³

^{1*}Каф. «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, пр. Центральний, 59А, Северодонецьк, Луганська обл., Україна, 93400, тел. +38 (064) 522 89 76, ел. пошта semen_opugt@mail.ru, ORCID 0000-0002-5236-4557

²Каф. «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, пр. Центральний, 59А, Северодонецьк, Луганська обл., Україна, 93400, тел. +38 (064) 522 89 76, ел. пошта mikhailov_evv@mail.ru, ORCID 0000-0002-6667-5348

³Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, ел. пошта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВИКОРИСТАННЯ КОЛІС ПЕРСПЕКТИВНОЇ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ДЛЯ РЕЙКОВИХ ЕКІПАЖІВ

Мета. В статті необхідно визначити техніко-економічну ефективність від використання коліс перспективної конструктивної схеми у ходовій частині рейкового екіпажа (вагона). **Методика.** Ефективність використання коліс перспективної конструктивної схеми за рахунок зниження опору руху та зносу гребенів оцінюється розрахунковими величинами річного економічного ефекту від впровадження та терміну окупності витрат, що необхідні для розробки й впровадження пропонованого колеса. У складі одноразових витрат враховуються витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, а також додаткові витрати, необхідні для виготовлення коліс перспективної конструктивної схеми. **Результати.** В ході обчислень та аналізу економічної ефективності від впровадження коліс перспективної конструктивної схеми, проведених на основі вихідних даних для Південно-Західної залізниці, визначено прибуток, який можливо отримати за рахунок зниження наступних експлуатаційних витрат: 1) витрат на точіння гребенів коліс колісних пар; 2) вартості паливно-енергетичних ресурсів на тягу поїздів; 3) вартості простою вагонів у поточному відцепному ремонті; 4) витрат на ремонт та поточне утримання колії. Крім того, може бути додатково вивільнено деяку кількість вагонів за рахунок зниження їх простою. Розрахунок чистого дисконтованого доходу здійснювався з наступними припущеннями: 1) розрахункового періоду; 2) орієнтовного збільшення вартості колісної пари з колесами перспективної конструктивної схеми у порівнянні з типовою конструкцією; 3) значення прибутку за розрахунковий період, який розраховувався шляхом обчислення середнього показника (за вирахуванням витрат на науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи); 4) виготовлення парку колісних пар із колесами нової конструктивної схеми. За даний період отримана розрахункова величина чистого дисконтованого доходу і визначений термін окупності проекту. **Наукова новизна.** Авторами зроблено обґрунтування підходів до вдосконалення конструктивної схеми коліс, використовуваних у ходовій частині рейкового екіпажа (вагона). **Практична значимість.** Методика розрахунку, пропонована в цій публікації, дозволяє оцінити техніко-економічну доцільність використання коліс перспективної конструктивної схеми у складі ходових частин рейкових екіпажів.

Ключові слова: витрати; колесо; оцінка; показники; прибуток; ефективність

S. A. SEMENOV^{1*}, E. V. MIKHAILOV², O. H. REIDEMEISTER³

^{1*}Dep. «Logistics Management and Traffic Safety in Transport», East-Ukrainian National University named after Vladimir Dahl, Tsentralnyi Av., 59A, Severodonetsk, Lugansk region., Ukraine, 93400, tel. +38 (064) 522 89 76, e-mail semen_opugt@mail.ru, ORCID 0000-0002-5236-4557

²Dep. «Logistics Management and Traffic Safety in Transport», East-Ukrainian National University named after Vladimir Dahl, Tsentralnyi Av., 59A, Severodonetsk, Lugansk region., Ukraine, 93400, тел. +38 (064) 522 89 76, e-mail mikhailov_ev@mail.ru, ORCID 0000-0002-6667-5348

³Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 16, ел. пошта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT OF THE USE OF WHEELS OF PERSPECTIVE STRUCTURAL SCHEME FOR RAILWAY VEHICLES

Purpose. The article is aimed to the definition of technical and economic efficiency from the use of wheels of perspective structural scheme in the undercarriage of the rail vehicles (wagon). **Methodology.** The use efficiency of wheels of promising design scheme by reducing the motion resistance and wear of the wheel flanges is estimated by calculated values of estimated annual economic effect of implementation and payback period of the costs required for the development and implementation of the proposed wheel. Non-recurring costs include the cost associated with conducting research and development work, as well as the additional costs required for the manufacture of wheels of promising design scheme. **Findings.** In the course of computation and analysis of the economic efficiency from introductions of wheels of promising design concept, carried out on the basis of the initial data for the South-West railway, it was determined the profit which can be obtained by reducing the following operating costs: cost of returning the wheel flange on wheel sets; cost of fuel and energy resources for train traction; the value of the idle of cars in the current uncoupling repair; cost of repairs and current maintenance of rail track. In addition, it can be additionally released a number of cars by reducing their downtime. The calculation of net discounted income is carried out with the following assumptions: calculation period; estimated increase in the cost of wheel sets with wheels of promising constructive scheme compared to the model, the values of net profit for the accounting period, which was calculated by calculating the average value minus the cost of research, development and manufacturing of wheelset park with wheels of new design scheme. For a given billing period, the calculated value of the net discounted income was obtained and the payback period of the project was determined. **Originality.** The approaches to the perfection of design scheme of wheels, used in running gear of railway vehicles were substantiated. **Practical value.** The calculation method proposed in this publication allows evaluating the technical and economic feasibility of using the wheels of promising design scheme in the running gears of railway vehicles.

Keywords: costs; wheel; evaluation; performance; profit; efficiency

REFERENCES

1. Kurhan M.B., Korzhenevych I.P., Barash Yu.S., Verkhohliadova N.I. Analiz roboty zaliznyts Ukrainy z pozytsii vplyvu intensyvnosti perevezen na znos infrastruktury [The Ukrainian railways analysis from the perspective of intensity impact of the transportation infrastructure]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 19, pp. 265-270.
2. Astakhov P.N. *Soprotivleniye dvizheniyu zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava* [Motion resistance to railway rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1966. 178 p.
3. Blokhin Ye.P., Myamlin S.V., Sergiyenko N.I. Povyshennyi iznos koles i relsov – vazhneyshaya problema transporta [Increased wear of wheels and rails – the major transport problem]. *Zaliznychiy transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2011, no. 1, pp. 10-14.
4. Blokhina A.S. Metod otsenki profiley koles podvizhnogo sostava [The method of assessing profiles of the rolling stock wheels]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 26, pp. 176-181.
5. Golubenko A.L. *Stsepleniye kolea s relsom* [Wheel-rail adhesion]. Lugansk, VUGU Publ., 1999, pp. 476 p.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

6. Guskova I.V. *Kompleksnaya otsenka parametrov, kharakterizuyushchikh iznos grebney bandazhey kolesnykh par lokomotivov v krivykh*. Avtoreferat Diss. [Comprehensive assessment of the parameters characterizing the flange wear of wheel sets of locomotives in curves. Author's Abstract.]. Rostov-on-Don, 1997. 18 p.
7. DSTU 4835:2008 *Kolisni pary vahoniv mahistralnykh zaliznyts kolii 1520 mm. Tekhnichni umovy (HOST 4835-2006, IDT)* [State Standard of Ukraine 4835:2008. Wheel sets of cars of mainline railways with the track 1520 mm. Specifications (State Standard 4835-2006, IDT)]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Publ., 2008. 14 p.
8. Eitutis H., Nykyforuk O., Karpov V. Analiz produktyvnosti zaliznyts Ukrainy [Efficiency analysis of Ukrainian railways]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tehnolohichnoho universytetu transportu. Seriya «Economika i upravlinnia»* [Proc. of State Economical and Technological Transport University. Series «Economics and Management»], 2015, issue 31, pp. 64-77.
9. *Zahalna informatsiia* (General information). Available at: http://uz.gov.ua/about/general_information/ (Accessed 15 April 2016).
10. *Zbirnyk taryfiv na perevezennia vantazhiv zaliznychnym transportom Ukrainy* [Trade catalogue for cargo transportation by railway transport of Ukraine]. Kyiv, 2009. 163 p.
11. Mikhaylov Ye.V., Slashchev V.A., Semenov S.A. Snizheniye kinemacheskogo proskalzyvaniya po relsu koleasa relsoвого ekipazha s podvizhnym grebнем [Reduction of kinematic sliding along a rail of the railway vehicle wheel with moveable flange]. *Vestnik Vostochnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Vladimira Dalya – Bulletin of Vladimir Dahl East Ukrainian National University*, 2013, no. 18 (207), part 1, pp. 28-34.
12. Myamlin S.V., Blokhina A.S., Tsechoyeva Z.Kh. Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti investitsionnogo proekta dlya zheleznodorozhnogo transporta s ispolzovaniyem razlichnykh metodov [Assessment of the economic efficiency of the investment project for a railway transport by using different methods]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 32, pp. 268-273.
13. Mykhailov Ye.V., Horbunov M.I., Kravchenko K.O., Semenov S.O. *Koleso reikovoho transportnoho zasobu* [Wheel of rail vehicle]. Patent for utility model, no. 105612, 2015.
14. *Pokaznyky vantazhnykh perevezen* (Values of freight transportations). Available at: http://uz.gov.ua/cargo_transportation/general_information/indicators_of_transit/ (Accessed 11 November 2016).
15. *Remont kolesnoy pary* (Wheel set repair). Available at: <http://detalvagon.etov.com.ua/product/310303-remont-kolesnoy-pari.html> (Accessed 11 November 2016).
16. Satkliff M., Donnelan M. *Effektivnaya finansovaya deyatel'nost. Sekrety finansovykh direktorov* [Effective financial activities. Secrets of financial directors]. Moscow, Vershina Publ., 2009. 496 p.
17. Tkachenko V.P. *Kinematicheskoye soprotivleniye dvizheniyu relsovykh ekipazhey* [Kinetic resistance to the movement of railway vehicles]. Lugansk, Izdatel'stvo VUGU Publ., 1996. 200 p.
18. *Filial «Panyutinskiy VRZ» PAO «Ukrzaliznytsya»* (Branch «Panyutinsk Railway-Car Repair Works» PJSC «Ukrzaliznytsya»). Available at: <http://usv-ua.all.biz> (Accessed 11 November 2016).
19. Chuprakov Ye.V. *Snizheniye iznosa koles i relsov za schet differentsial'nogo vrashcheniya kolesnykh par net-yagovogo podvizhnogo sostava pri dvizhenii v krivykh uchastkakh puti*. Kand. Diss. [Reduction of wheel and rail wear due to the differential rotation of the wheelsets of non-traction rolling stock when moving in curved track sections. Cand. Diss.]. Moscow, 2016. 225 p.
20. *YuZZhD otremonirovala svyshe 4.5 tys. gruzovykh vagonov* (South-Western Railway has repaired more than 4.5 ths. of freight cars). Available at: <http://cfts.com.ua/news/> (Accessed 25 April 2016).
21. Mikhailov E., Semenov S., Panchenko E. The possibility of reducing kinematic slip with two-point contacting with rail wheel railway vehicle. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 2013, vol. 13, no. 1, pp. 139-145.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. С. В. Мямлиным (Украина); д.т.н., проф. Д. Н. Марченко (Украина)

Поступила в редколлегию: 29.08.2016

Принята к печати: 04.11.2016

UDC 338.45:656.225

B. FARKAS^{1*}

^{1*} Dep. «Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering», The Budapest University of Technology and Economics, Műegyetem rkp., 3, Budapest, Hungary, H-1111, tel. +36 1 (463) 10 51, e-mail farkas.balint@mail.bme.hu, ORCID 0000-0001-5388-9905

PRESENTATION OF THE RAIL FREIGHT MARKET'S CONCENTRATION WITH RESPECT TO THE GAS MARKET WITH THE HELP OF THE HERFINDAL-HIRSCHMAN INDEX

Purpose. To demonstrate the current level of concentration on the rail freight market and to find a feasible long-term way for its expansion and progress by exploring and comparing it to another industrial branch well ahead on the road of concentration. **Methodology.** To identify an industrial branch being at an appropriate level of concentration, therefore being suitable for the purpose. To adapt the Herfindahl-Hirschman Index (HHI) for measuring the level of concentration of the market. Finally, to make a series of comparisons between the levels of concentrations of the two markets. **Findings.** In terms of concentration of the market, the liberalisation was more successful in the gas sector than in the rail freight sector, in Hungary. Therefore, the Hungarian gas sector is to be abandoned for comparison purposes and another, more suitable should be picked. Figures in the charts and findings of the application of the HH Index demonstrate that the liberalisation process in the energetics sector in Estonia has been most efficient. The methods of the Estonian process may be applicable for reducing the level of concentration on the rail freight market in Hungary. **Originality.** Novelty as far as the application of the Herfindahl-Hirschman Index for the purposes of the investigation is concerned. An innovative approach to analyse the structure of the rail freight market by a test, which has been unique so far in Hungary. **Practical value.** By using a mathematical method, a market suitable for testing can be selected. The results of the analyses can be adopted for the purposes of the rail freight market.

Keywords: rail; gas; market; liberalization; Herfindahl-Hirschman Index; freight

Introduction

In this paper we point out that compared to other sectors ahead with the liberalization, the degree of liberalization of rail freight can be defined. A possible way to this comparison is the application of the Herfindahl-Hirschman Index (hereinafter HHI). The HHI index shows the concentration of the market, the lower the value the more liberalized the particular market is. Our study will show that the liberalization of rail freight cannot be considered satisfactory. To find a solution to this problem, the method to be applied is that we examine the liberalization processes of industries showing similarities to rail freight with other, specific characteristics [14].

We will select an industry based on some of the important features, and examine its process of liberalization to receive guidance in the future on how the liberalization of Hungarian rail freight can be made. In our article we examine the natural gas service among the industries, and we will compare this the rail freight on the basis of the HHI index.

We will introduce the HHI index, its forming's mathematical method, and what consequences can be drawn from it regarding the degree of liberalization. Then we will determine the HHI index of the natural gas industry and the rail freight. Based on this data we will point out the differences and tendencies in numbers and draw conclusions.

The purpose of research. The Hungarian rail freight as well as a number of other services should be liberalized. One reason is that the liberalized market creates the conditions for that the quality, the performance and the low price should mean the competitive edge and not the speculative instruments and the abuse of a dominant market position [1]. This is the interest of the sector as it contributes to development, and also the interest of the consumers as they can enjoy higher value services with more choice besides a better price-performance ratio.

Because of all these reasons the European Union (hereinafter EU) also provides directives for the liberalization to the legislators. These direc-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

tives are 91/440/EEC, 95/19/EK, «First Railway Package» (2001), «Second Railway Package» (2004), «Third Railway Package» (2007), «Fourth Railway Package» (2013) [4]. These directives have gradually prescribed the advancing of the liberalization process. The liberalization of Hungarian rail freight has already begun, but not yet complete. The long-term goal of our research is to find a solution to the question of how the liberalization of Hungarian rail freight sector can be continued [10]. For this we chose the method to examine the process of liberalization in other industries which are already ahead of or even been liberalized on an acceptable level [5].

The method. In this paper we deal with that how to select the example industry, which industry should we consider sample to find guidance to the further liberalization of Hungarian rail freight. For this in the first round we should find such industries, which are more similar to rail freight with regard to characteristics. Such common characteristics are, for example, that we talk about a service, which is associated with a physical network, which network is multi-level depending on how large area it covers. If we had found the market with these characteristics, we would have needed to choose the most suitable among them. We also judge this suitability with the degree of liberalization, because only then we can conclude that the choice described above is ahead to the liberalization process, that is, whether we can draw progressive lessons from it? We determined the degree of liberalization by using HHI. In this paper we are moving forward in the above-described steps.

Choosing the appropriate industry. The service sector similarly networked as rail, the other infrastructure sectors, namely drinking water supply, natural gas supply, district heating and electricity services [8]. There is no nationwide network of district heating, but only local, so we can ignore this sector. The remaining three has national and international level as well. Among them the natural gas service has both regional and national, and also international level, so we find this sector suitable for further analysis, which determines the degree of liberalization by using HHI [2].

Presentation of Herfindahl-Hirschman Index (HHI). The Herfindahl-Hirschman Index shows how concentrated a particular market is, that is

how well its shares are distributed among the participants [3]. The more even the share of the market participants is, the smaller the HHI is, and in case if less participants have more shares, then the HHI will be higher. Its forming is done by the sum of squares of the market operator's shares:

$$HHI = \sum_{i=1}^n r_i^2,$$

where n – the number of market operators; r_i – the share of i operator.

Its value is between $\frac{1}{n}$ and 1, or it is also usual to substitute r_i with the number value of percentages, then the upper threshold is 10000, this is more expressive.

We distinguish three levels of classification of the markets' concentration based on the HHI:

According to the US classification:

- Non-concentrated market: HHI below 1 500
- Less concentrated market: HHI between 1 500 and 2 500
- Highly concentrated market: HHI above 2 500

According to the Hungarian classification:

- HHI below 1 000 – non-concentrated market
- HHI between 1 000 and 1 800 – less concentrated market

HHI above 1800 – highly concentrated market [12].

Presentation of the calculation and its results. In the following diagrams (see Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, and Fig. 8) we can see the companies' market share of the natural gas service and the rail freight market. In the following diagrams the letters are the names of the rail freight market actors in Hungary (A, B, C, ...). The figures show the percentage share calculated in freight ton-km basis. After the graphics presenting the certain years, in summary we will illustrate the evolution of HHI in terms of rail freight and natural gas service, in the period from 2010 and 2015.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

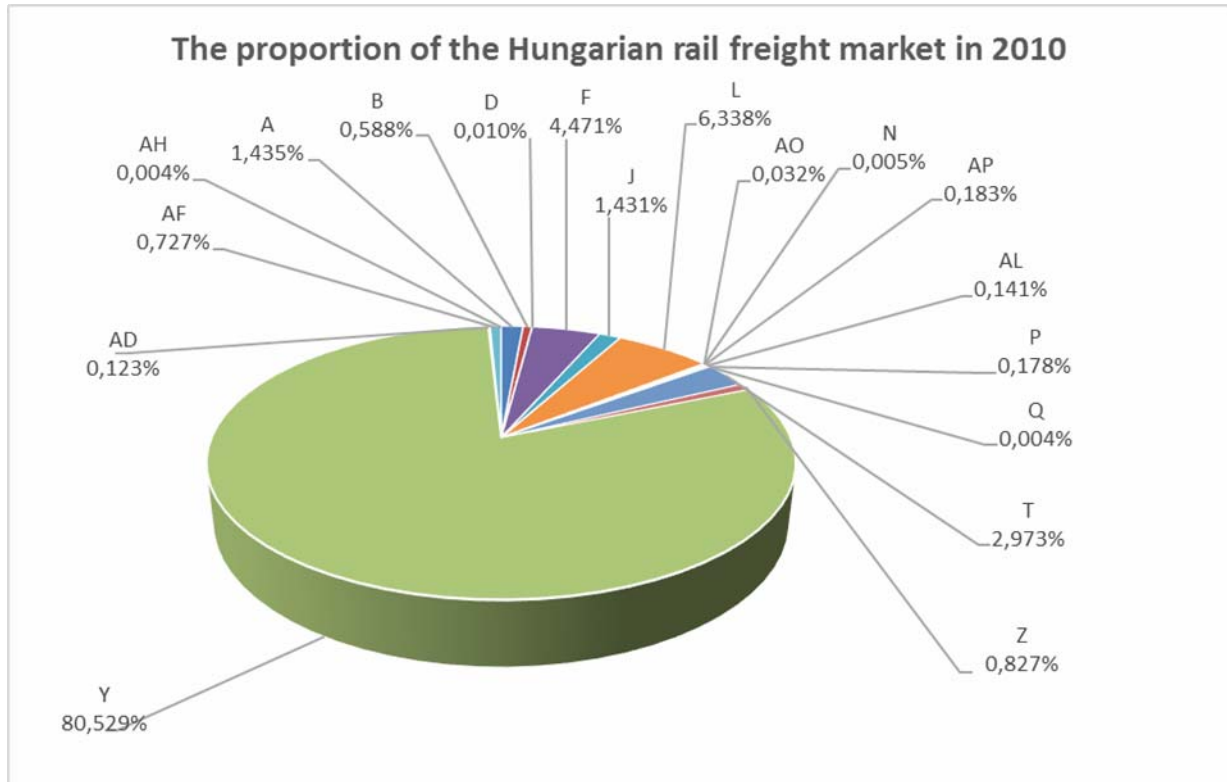


Fig. 1. The proportion of the Hungarian rail freight market in 2010
Source: own work (National Transport Authority)

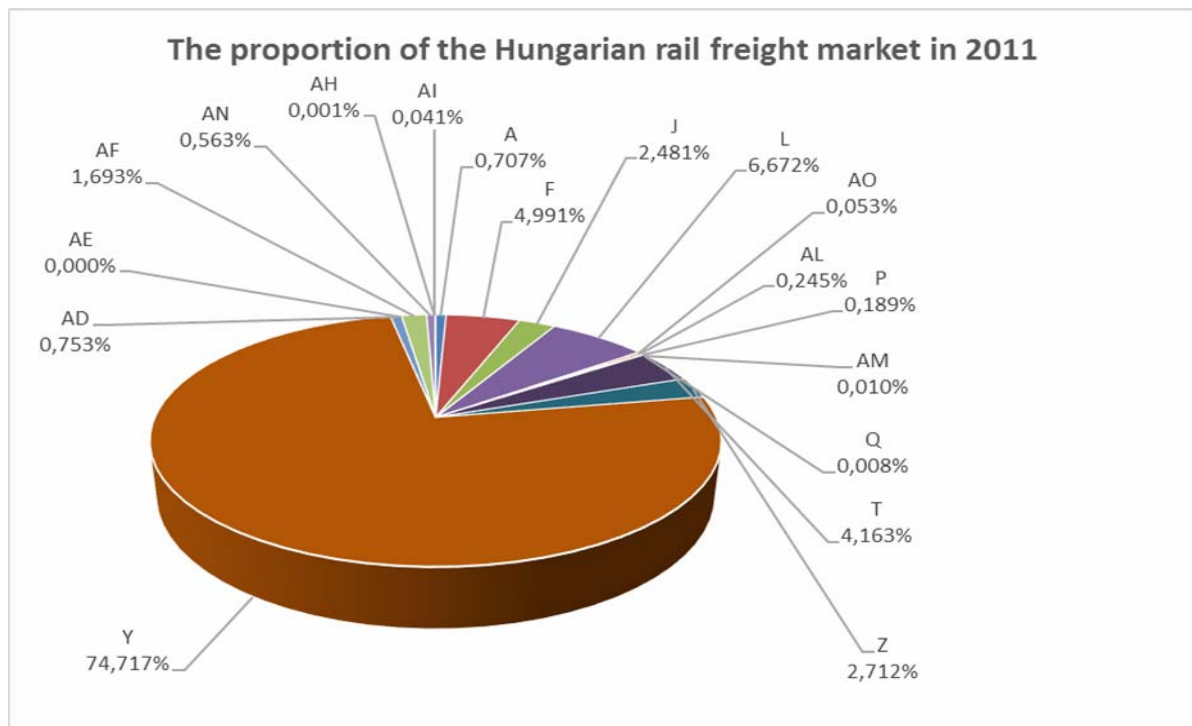


Fig. 2. The proportion of the Hungarian rail freight market in 2011
Source: own work (National Transport Authority)

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

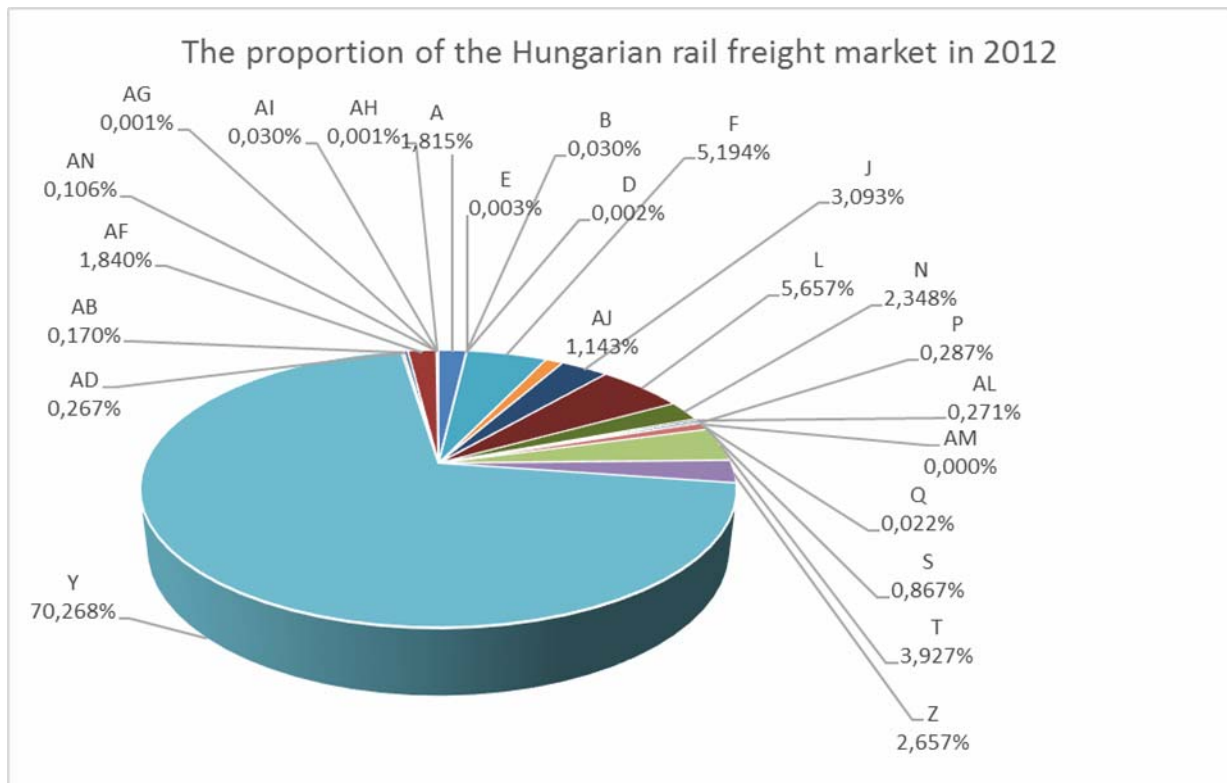


Fig. 3. The proportion of the Hungarian rail freight market in 2012
Source: own work (National Transport Authority)

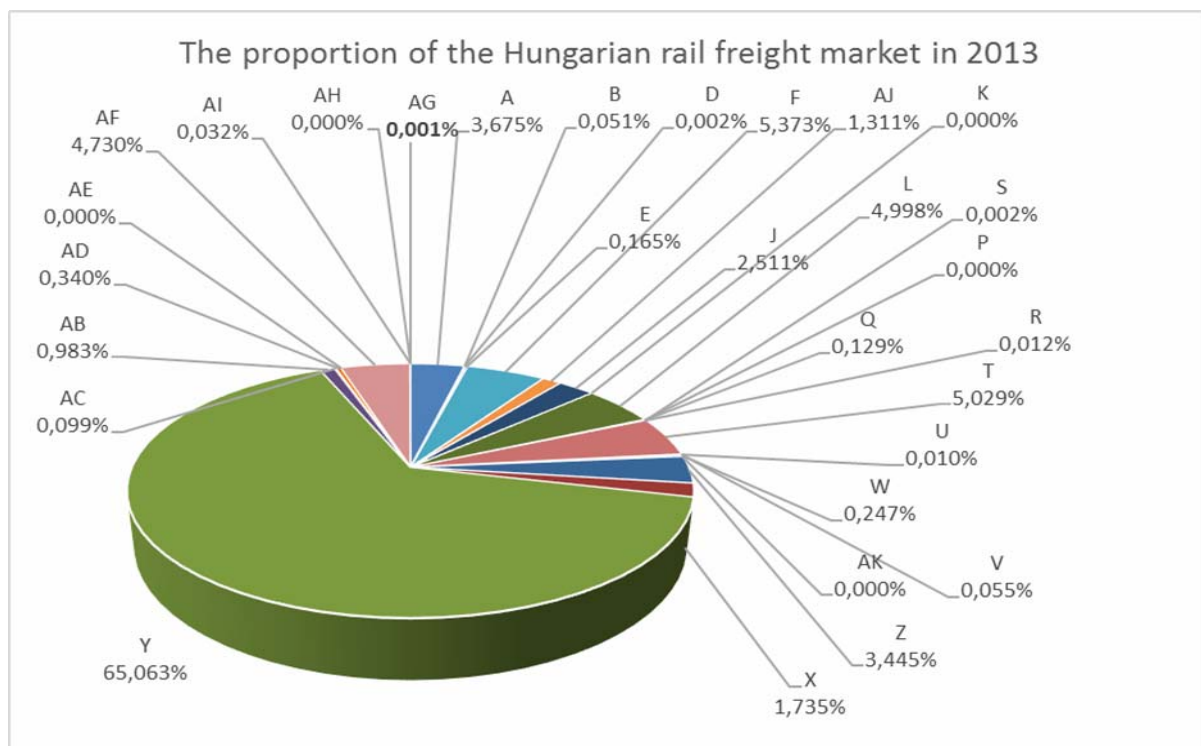


Fig. 4. The proportion of the Hungarian rail freight market in 2013
Source: own work (National Transport Authority)

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

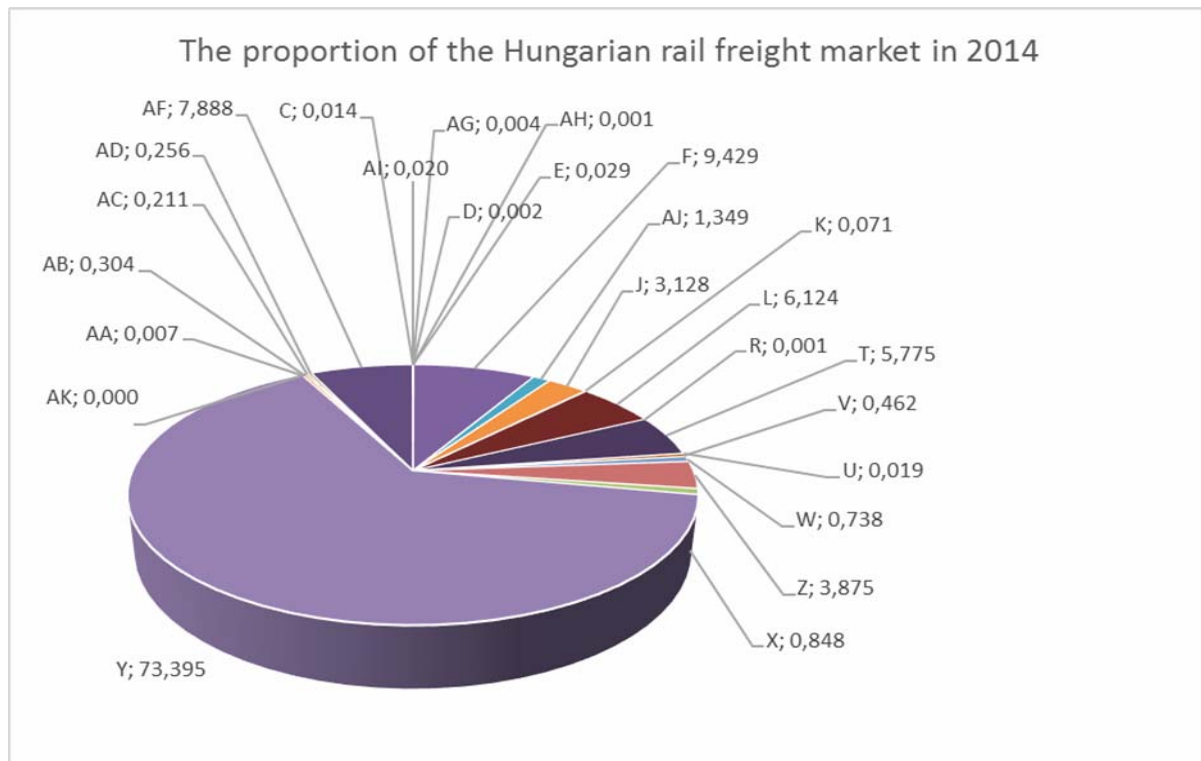


Fig. 5. The proportion of the Hungarian rail freight market in 2014
Source: own work (National Transport Authority)

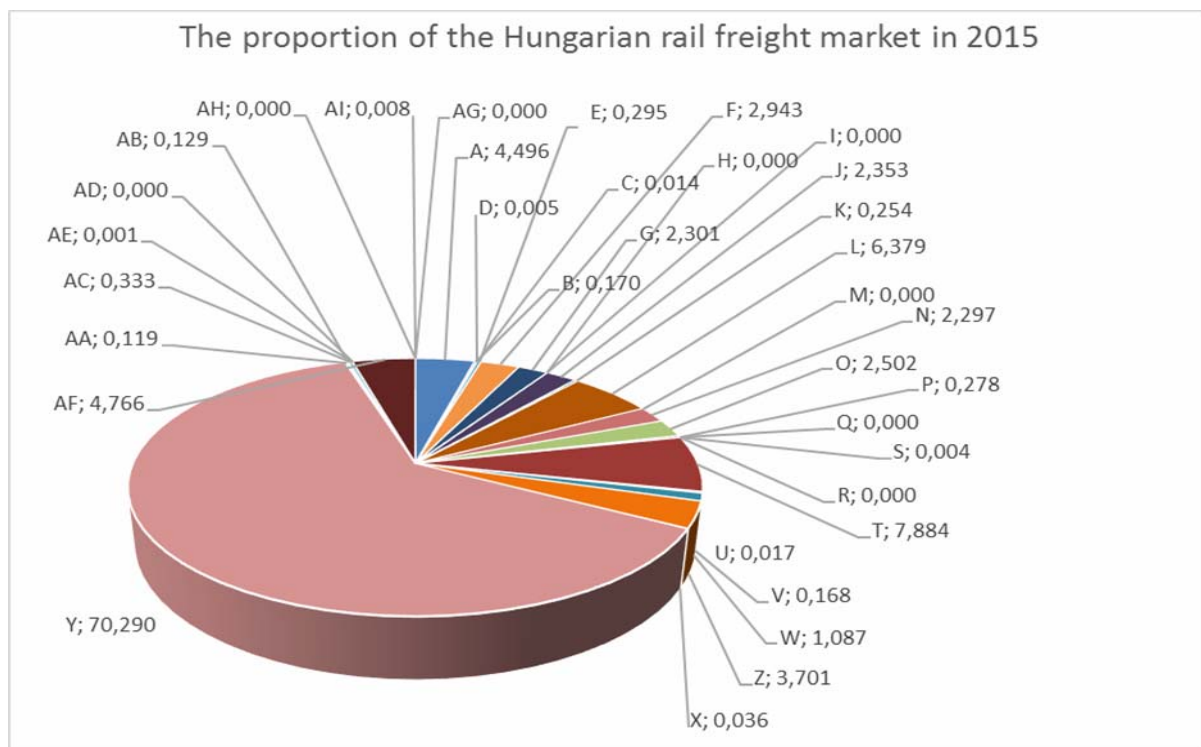


Fig. 6. The proportion of the Hungarian rail freight market in 2015
Source: own work (National Transport Authority)

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

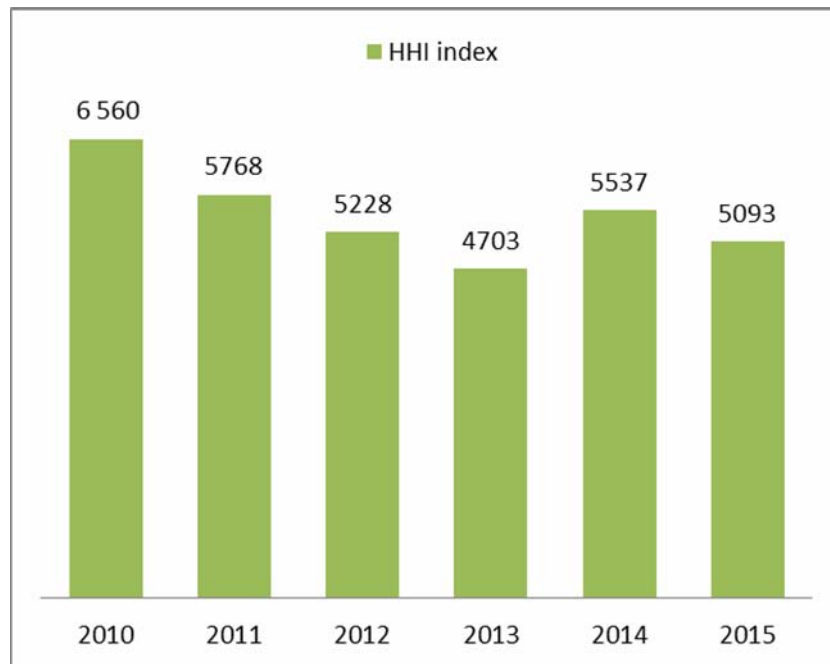


Fig. 7. The HHI indexes of the Hungarian rail freight from 2010 to 2015 broken down by years
Source: own work (National Transport Authority)

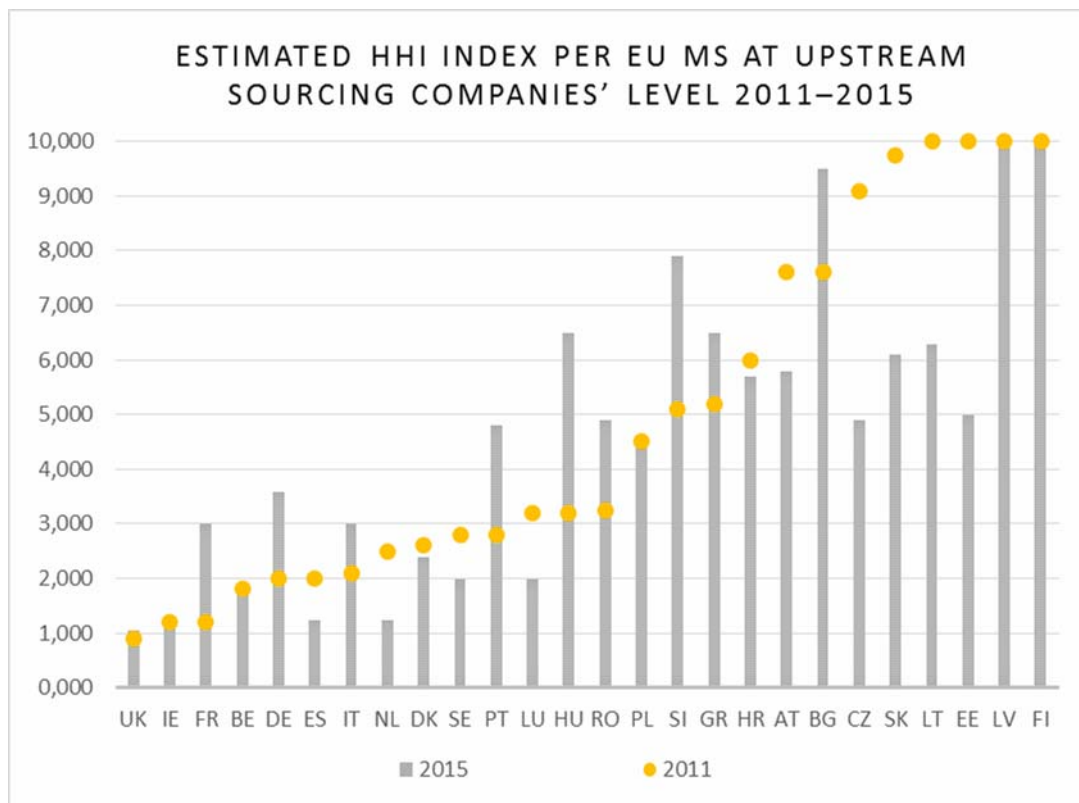


Fig. 8. The HHI index of the European countries' gas trade and market in 2011 and in 2015
Source: ACER calculations based on Eurostat and Eurostat Comext, BP Statistical Report, Frontier Consultancy desktop research for GTM 2014 and NRAs data. (See annex 1 for methodology clarification)

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Rail freight. The HHI index of rail freight fluctuated between 4500 and 7000 in the period from 2010 to 2015 (Chart 1-6), showed a clear decrease until 2013 and then began to rise (Chart 5). With these HHI indexes, unfortunately, the rail freight market is in the «highly concentrated» category. This is because the share of one of the market operators is overwhelming, this company's share affected the tendencies the most. From this it is visible that the circle of market operators has steadily expanded, this has not significantly improved the concentration of the market since new entrants hold only a small share of the market. The liberalization process is not satisfactory, the market competition's conditions of fair, quality and performance based, serving the interest of the consumers in the long run are not met.

Natural gas service. From Chart 9 can be concluded that Hungary had the largest increase in market concentration from all EU Member States [13]. In Estonia, however, it shows that it came back nearly 50% from the highest concentration [6]. This is because of the good differentiation, the choice of good product range and good economic decisions [9, 15].

Conclusions

All these show that the liberalization of Hungarian rail freight still intends to continue. The structure of the market is required to be homogenized to comply with European Union directives and to make possible the development of a healthy market competition bearing in mind the interest of consumers. As a result of our research we can see that the liberalization efforts have not been sufficiently successful in the natural gas supply market [7]. By taking into account this and the previous considerations, it can be said that it is not worthwhile examine how the liberalization of this industry has been implemented in Hungary. Instead, we must seek for another, more suitable example of industry hereinafter. Or further studies would be necessary in the energy liberalization of Estonia, because as the above figure shows, Estonia could reduce its market concentration very well. As another direction of our research, we will examine the gas industry market and position of Estonia.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Bethlendi, A. A hazai hitelpiac empirikus vizsgálata fejlődési irányok, makrogazdasági és pénzügyi stabilitási következmények : PhD thesis / A. Bethlendi ; Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gazdálkodás- és Szervezéstudományi Doktori Iskola. – Budapest, 2009. – P. 22–31.
2. Bointner, R. Knowledge in the energy sector: what R&D Expenditures and patents reveal about innovation [Vortrag] / R. Bointner // 38th IAEE Intern. Conf. (25.05–27.05.2015). – Türkei, Antalya, 2015. – P. 2.
3. Cutler, D. M. Hospitals, Market Share, and Consolidation / D. M. Cutler, F. S. Morton // JAMA. – 2013. – Vol. 310. – Iss. 18. – P. 1964–1970. doi:10.1001/jama.2013.281675.
4. Duleba, S. An Analysis on the connections of factors in a public transport system by AHP-ISM / S. Duleba, Y. Shimazaki, T. Mishina // Transport. – 2013. – Vol. 28. – Iss. 4. – P. 404–412. doi: 10.3846/16484142.2013.867282.
5. Gregor, G. Generation Investments under Liberalized Conditions in the Central and South-East European region / G. Gregor, A. Kiss, A. Mezösi // Security of Energy Supply in Central and South-East Europe / ed. P. Kaderák. – Budapest : REKK, 2011. – P. 150–201.
6. Liberalisation of the Estonian Gas Market: A report to Elering AS [Electronic resource]. – Oxford : Pöyry Management Consulting, 2011. – 154 p. – Available at: http://www.poyry.com/sites/default/files/573_estonian_liberalisation_v1_0.pdf. – Title from the screen. – Accessed : 04.10.2016.
7. Kiss, A. Measures and Indicators of Regional Electricity and Gas Supply Security in Central and South-East Europe / A. Kiss, A. Mezösi, A. I. Tóth // Security of Energy Supply in Central and South-East Europe / ed. P. Kaderák. – Budapest : REKK, 2011. – P. 8–51.
8. Kurmai, V. A piaci verseny és koncentráció az almasűrűség világtrendjein / V. Kurmai // Agrártudományi Közlemények. – 2016. – Iss. 69. – P. 129–133.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

9. Ripple, R. D. Global Natural gas markets: Prospects for US exports? [Electronic resource] : presentation / R. D. Ripple // EIA Energy Conf. (15.06–16.06.2015) / The University of Tulsa. – Washington, 2015. – Available at: <https://www.eia.gov/conference/2015/pdf/presentations/ripple.pdf>. – Title from the screen. – Accessed : 03.01.2017.
10. Smith, A. S. J. The Impacts of Economic Regulation on the Efficiency of European Railway Systems / A. S. J. Smith, V. Benedetto, C. A. Nash // 4th White Rose Doctoral Training Centre Economics Conference (27.03.2015) / University of Leeds. – Leeds, 2015. – P. 5.
11. Sugár, A. A piacsabályozás elméleti és gyakorlati aspektusai közszolgáltató szektorokban, elsősorban az energiaszektor árszabályozása példáján : PhD thesis / A. Sugár. – Budapest : Corvinus University of Budapest, 2011. – 27 p.
12. Uhrin, G. A verseny intenzitásának mérhetősége [Mensurability of the competition's intensity] [Electronic resource] / G. Uhrin. – 40 p. – Available at: <http://www.gvh.hu/data/cms1000455/Uhrin%20G%C3%A1bor.pdf>. – Title from the screen. – Accessed : 05.10.2016.
13. Vandewalle, J. Natural gas in the energy transition. Technical challenges and opportunities of natural gas and its infrastructure as a flexibility-providing resource : Dissertation / J. Vandewalle. – Leuven : KU, 2014. – 268 p.
14. Varga, J. A versenyképesség többszintű elemzése az innovációval való összefüggése : doktori (Ph.D) értekezés / J. Varga. – Gödöllő : Szent István Egyetem, 2014. – 215 p.
15. Youngs, R. The EU's global climate and energy policies: gathering momentum? / R. Young // FRIDE's working papers. – 2013. – № 118. – P. 24. – Available at: http://fride.org/download/WP_118_EU_global_climate_and_energy_policies.pdf. – Title from the screen. – Accessed : 07.11.2016.

Б. ФАРКАС^{1*}

^{1*}Каф. «Транспортне машинобудування і автомобілебудування», Будапештський університет технологій і економіки, Műegyetem rkp., 3, Будапешт, Угорщина, H-1111, тел. +36 1 (463) 10 51, ел. пошта farkas.balint@mail.bme.hu, ORCID 0000-0001-5388-9905

ПРЕЗЕНТАЦІЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВАНТАЖНОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО РИНКУ ЩОДО ГАЗОВОГО РИНКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНДЕКСУ ХЕРФІНДАЛЯ-ХІРШМАНА

Мета. Дана стаття має за мету продемонструвати поточний рівень концентрації ринку залізничних вантажних перевезень та знайти доцільний постійний спосіб його розширення і просування, досліджуючи й порівнюючи його з іншими промисловими галузями, які досягли значних успіхів на шляху до концентрації ринку. **Методика.** У роботі необхідно: 1) визначити промислову галузь, що знаходиться на відповідному рівні концентрації, і, отже, придатну для цієї мети; 2) адаптувати індекс концентрації Херфіндаля-Хіршмана (IХХ) для вимірювання рівня концентрації ринку; 3) зробити, нарешті, ряд порівнянь рівнів концентрацій двох ринків. **Результати.** З точки зору концентрації ринку в Угорщині лібералізація була більш успішною в газовій галузі, ніж в галузі залізничних вантажних перевезень. Тому угорську газову галузь слід виключити з порівняння та вибрати іншу, більш відповідну. Цифри, наведені в таблицях, і результати застосування IХХ свідчать про те, що процес лібералізації у галузі енергетики Естонії був найбільш ефективним. Для зниження рівня концентрації на ринку вантажних залізничних перевезень в Угорщині можуть бути застосовані методи лібералізації Естонії. **Наукова новизна.** У статті вперше розглядається застосування індексу Херфіндаля-Хіршмана для мети дослідження. Використовується інноваційний підхід до аналізу структури ринку залізничних вантажних перевезень за допомогою тесту, який досі був унікальним для Угорщини. **Практична значимість.** З використанням математичного методу можна вибрати відповідний для тестуван-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ня ринок. Результати аналізів можуть використовуватися для цілей ринку залізничних вантажних перевезень.

Ключові слова: залізниця; газ; ринок; лібералізація; індекс Херфіндаля-Хіршмана; вантажоперевезення

Б. ФАРКАС^{1*}

^{1*} Каф. «Транспортное машиностроение и автомобилестроение», Будапештский университет технологий и экономики, Műegyetem rkp., 3, Будапешт, Венгрия, H-1111, тел. +36 1 (463) 10 51, эл. почта farkas.balint@mail.bme.hu, ORCID 0000-0001-5388-9905

ПРЕЗЕНТАЦИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГРУЗОВОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО РЫНКА В ОТНОШЕНИИ ГАЗОВОГО РЫНКА С ПОМОЩЬЮ ИНДЕКСА ХЕРФИНДАЛЯ-ХИРШМАНА

Цель. Данная статья имеет своей целью продемонстрировать текущий уровень концентрации рынка железнодорожных грузовых перевозок и найти целесообразный постоянный способ его расширения и продвижения, исследуя и сравнивая его с другими промышленными отраслями, которые достигли значительных успехов на пути к концентрации рынка. **Методика.** В работе необходимо: 1) определить промышленную отрасль, находящуюся на соответствующем уровне концентрации, и, следовательно, пригодную для этой цели; 2) адаптировать индекс концентрации Херфиндаля-Хиршмана (ИХХ) для измерения уровня концентрации рынка; 3) сделать, наконец, ряд сравнений уровней концентраций двух рынков. **Результаты.** С точки зрения концентрации рынка в Венгрии либерализация была более успешной в газовой отрасли, чем в отрасли железнодорожных грузовых перевозок. Поэтому венгерскую газовую отрасль следует исключить из сравнения и выбрать другую, более подходящую. Цифры, приведенные в таблицах, и результаты применения ИХХ свидетельствуют о том, что процесс либерализации в отрасли энергетики Эстонии был наиболее эффективным. Для снижения уровня концентрации на рынке грузовых железнодорожных перевозок в Венгрии могут быть применены методы либерализации Эстонии. **Научная новизна.** В статье впервые рассматривается применение индекса Херфиндаля-Хиршмана для целей исследования. Используется инновационный подход к анализу структуры рынка железнодорожных грузовых перевозок с помощью теста, который до сих пор был уникальным для Венгрии. **Практическая значимость.** С использованием математического метода можно выбрать подходящий для тестирования рынок. Результаты анализов могут использоваться для целей рынка железнодорожных грузовых перевозок.

Ключевые слова: железная дорога; газ; рынок; либерализация; индекс Херфиндаля-Хиршмана; грузоперевозки

REFERENCES

1. Bethlendi A. A hazai hitelpiac empirikus vizsgálata fejlődési irányok, makrogazdasági és pénzügyi stabilitási következmények [Empirical research of the interior credit market, direction of development, macro economical and financial stability consequences]: PhD thesis. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gazdálkodás- és Szervezéstudományi Doktori Iskola [Doctoral School of Business and Management, Budapest University of Technology and Economics]. Budapest, 2009, pp. 22-31.
2. Bointner R. Knowledge in the energy sector: what R&D Expenditures and patents reveal about innovation [Vortrag]. 38th IAEE Intern. Conf. (25.05–27.05.2015). Türkiye, Antalya, 2015. P. 2.
3. Cutler D.M., Morton F.S. Hospitals, Market Share, and Consolidation. *JAMA*, 2013, vol. 310, issue 18, pp. 1964-1970. doi:10.1001/jama.2013.281675.
4. Duleba S., Shimazaki Y., Mishina T. An Analysis on the connections of factors in a public transport system by AHP-ISM. *Transport*, 2013, vol. 28, issue 4, pp. 404-412. doi: 10.3846/16484142.2013.867282.
5. Gregor G., Kiss A., Mezösi A. Generation Investments under Liberalized Conditions in the Central and South-East European region. Security of Energy Supply in Central and South-East Europe. Ed. P. Kaderák. Budapest, REKK Publ., 2011, pp. 150-201.
6. Liberalisation of the Estonian Gas Market: A report to Elering AS Oxford: Pöyry Management Consulting, 2011. 154 p. Available at:

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

- http://www.poyry.com/sites/default/files/573_estonian_liberalisation_v1_0.pdf (Accessed 04 October 2016).
7. Kiss A., Mezősi A., Tóth A.I. Measures and Indicators of Regional Electricity and Gas Supply Security in Central and South-East Europe. Security of Energy Supply in Central and South-East Europe. Ed. P. Kaderák. Budapest, REKK Publ., 2011, pp. 8-51.
 8. Kurmai V. A piaci verseny és koncentráció az almasűrítmény világpiacán [The market competition and concentration on the global market of the appleconcentrate]. *Agrártudományi Közlemények – Acta Agraria Debreceniensis*, 2016, issue 69, pp. 129-133.
 9. Ripple R. D. Global Natural gas markets: Prospects for US exports?: presentation. EIA Energy Conf. (15.06–16.06.2015). The University of Tulsa. Washington, 2015. Available at: <https://www.eia.gov/conference/2015/pdf/presentations/ripple.pdf> (Accessed 03 January 2017).
 10. Smith A.S.J., Benedetto V., Nash C.A. The Impacts of Economic Regulation on the Efficiency of European Railway Systems. 4th White Rose Doctoral Training Centre Economics Conference (27.03.2015). University of Leeds. Leeds Publ., 2015. P. 5.
 11. Sugár A. A piacsabályozás elméleti és gyakorlati aspektusai közszolgáltató szektorokban, elsősorban az energiaszektor ársabályozása példáján [The theoretic and practical aspects of the market regulation in the public service sectors, primely as an example of the price regulation of the energy sector]: PhD thesis. Budapest, Corvinus University of Budapest Publ., 2011. 27 p.
 12. Uhrin G. A verseny intenzitásának mérhetősége [Mensurability of the competition's intensity]. 40 p. Available at: <http://www.gvh.hu/data/cms1000455/Uhrin%20G%C3%A1bor.pdf> (Accessed 05 October 2016).
 13. Vandewalle J. Natural gas in the energy transition. Technical challenges and opportunities of natural gas and its infrastructure as a flexibility-providing resource: Dissertation. Leuven, KU Publ., 2014. 268 p.
 14. Varga J. A versenyképesség többszintű elemzése az innovációval való összefüggése [Multilevel analysis of the competitiveness and the correlation with the innovation]: doktori (Ph.D) értekezés. Gödöllő, Szent István Egyetem Publ., 2014. 215 p.
 15. Youngs R. The EU's global climate and energy policies: gathering momentum? FRIDE's working papers. 2013, no. 118, pp. 24. Available at: http://fride.org/download/WP_118_EU_global_climate_and_energy_policies.pdf (Accessed 07 November 2016).

*Dr. habil. Duleba Szabolcs, Budapest University of Technology and Economics (Hungary);
Prof. S. V. Myamlin, D. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published*

Received: Sep. 30, 2016

Accepted: Dec. 05, 2016

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.4:656.2.

О. С. КРАШЕНІНІН^{1*}, О. В. КЛИМЕНКО^{2*}, О. В. ПОНОМАРЕНКО^{3*}

^{1*}Каф. «Експлуатація та ремонт рухомого складу», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 19 99, ел. пошта errs1@mail.ua, ORCID 0000-0001-5079-5903

^{2*}Каф. «Експлуатація та ремонт рухомого складу», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 19 99, ел. пошта errs1@mail.ua, ORCID 0000-0002-1489-0062

^{3*}Каф. «Експлуатація та ремонт рухомого складу», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 19 99, ел. пошта errs1@mail.ua, ORCID 0000-0002-9608-8849

ПРОГНОЗУВАННЯ ОЦІНКИ ХАРАКТЕРИСТИК НОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Мета. Наукова робота має за мету прогнозування оцінки характеристик тягових і нетягових транспортних засобів, які будуть задовольняти й відповідати потребам та вимогам залізничної галузі, що постійно розвивається. **Методика.** Аналіз технічного стану існуючого парку рухомого складу (тягового та нетягового) залізниць України свідчить про його значне скорочення, яке відбувається у зв'язку з моральним і фізичним зносом, а також недостатнім та обмеженим придбанням нових одиниць тягового й нетягового рухомого складу в потрібній кількості. В ситуації, яка склалася, виникає необхідність пошуку методик визначення технічних характеристик рухомого складу. Одним із таких актуальних та ефективних заходів є проведення прогнозування визначаючих характеристик транспортних засобів на підставі процесів їх відтворення в умовах обмежених ресурсів із використанням безперервної експоненціальної функції. На основі функції швидкості приросту міри прогнозованого показника транспортного засобу визначається логістична характеристика, яка при необмежених ресурсах має вигляд експоненти, а при малих – прямої. **Результати.** За запропонованою методикою, виходячи з отриманих даних, визначено очікувану (перспективну) величину ξ_i . Це відношення вантажопідйомності до об'єму кузова для нетягового рухомого складу (напіввагонів) та маси до потужності – для тягового рухомого складу, що визначають ступінь достовірності прогнозу та середньоквадратичну похибку прогнозу. Вони показують високу точність прогнозу за виконаною методикою. В результаті це дозволить оцінювати з високою достовірністю необхідні характеристики транспортних засобів у прогнозованому році. **Наукова новизна.** Авторами запропонована концепція прогнозування оцінки характеристик транспортних засобів для прийняття рішень щодо їх перспективності. **Практична значимість.** Методика прогнозування дозволить достовірно визначити технічні показники тягового та нетягового рухомого складу, які задовольнятимуть сучасним вимогам залізничних перевезень, у тому числі на стадії проектування та при виконанні модернізації існуючих транспортних засобів.

Ключові слова: транспортні засоби; технічні характеристики транспортних засобів; ресурси підприємств

Вступ

Перед залізничним транспортом поставлені складні задачі щодо забезпечення стабільності перевезень населення та вантажів для різних

галузей господарства. В умовах зношеності основних фондів і необхідності прийняття виважених рішень щодо подальшого розвитку і фінансування галузі постають завдання щодо за-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

безпечення оновлення транспортних засобів з урахуванням набутого успішного досвіду їх використання і забезпечення їх оптимальних характеристик. Все це визначає актуальність розв'язання задач прогнозування оцінок характеристик транспортних засобів.

Мета

В умовах реформування залізничної галузі треба вирішити питання щодо вибору технології утримання транспортних засобів з одного боку, а з іншого – треба визначитися, які властивості повинні мати нові транспортні засоби. Як показує досвід низки країн, в основу створення транспортних засобів треба покласти логістичні підходи. Це надасть можливість для створення адаптованого під конкретні задачі користувача або орендатора транспортного засобу.

Розв'язання цих задач неможливо без урахування попереднього досвіду на основі принципів перспективності, закінченості, ефективності і системності.

З наукової точки зору це визначає розробку математичних підходів для прийняття рішень щодо оцінки характеристик транспортних засобів.

Методика

Моделювання процесів розвитку технічних засобів є складною задачею. Однак деякі результати можуть бути отримані шляхом аналізу загальних закономірностей їх розвитку [2, 4].

Розглянемо процес відтворення транспортних засобів в умовах обмежених ресурсів. В цьому випадку іноді приймають, що

$$\frac{d\xi}{dt} = a \left(1 - \frac{\xi}{k} \right) \xi, \quad (1)$$

тобто швидкість приросту збільшується пропорційно кількості створених транспортних засобів та зменшується по мірі вичерпання ресурсів транспортних засобів. Тут ξ – міра створеного; a та k – коефіцієнти.

Інтегруючи рівняння (1), отримуємо

$$\frac{1}{\xi} - \frac{1}{k} = \left(\frac{1}{\xi_0} - \frac{1}{k} \right) \exp [-a(t - t_0)]. \quad (2)$$

Приймаємо за початок відліку $t = t_0 = 0$, тоді

$$\frac{1}{\xi} - \frac{1}{k} = \left(\frac{1}{\xi_0} - \frac{1}{k} \right) \exp (-at), \quad (3)$$

$$\xi = \frac{k}{1 + \left(\frac{k}{\xi_0} - 1 \right) \exp (-at)}.$$

Позначивши $b = \left(\frac{k}{\xi_0} - 1 \right)$, отримаємо рівняння логістичної кривої у канонічній формі

$$\xi = \frac{k}{1 + b \exp (-at)}. \quad (4)$$

Відмітимо, що це рівняння можна записати і в такому вигляді

$$\xi = A [1 + th (a_1 + b_1 t)]. \quad (5)$$

Дійсно, підставляючи значення th , отримуємо

$$\begin{aligned} \xi &= A \left[1 + \frac{\exp (a_1 + b_1 t) - \exp (-a_1 - b_1 t)}{\exp (a_1 + b_1 t) + \exp (-a_1 - b_1 t)} \right] = \\ &= \frac{2A}{1 + \exp (-2a_1 - 2b_1 t)}, \quad (6) \end{aligned}$$

а позначивши $2A = k$, $\exp(-2a_1) = b$, $2b_1 = a$, отримуємо рівняння (4).

В тому випадку, якщо $b \gg 1$, тобто $\frac{k}{\xi_0} \gg 2$ або $\frac{\xi_0}{k} \ll \frac{1}{2}$, що фізично означає малий ступінь використання загальних ресурсів (ресурси необмежені), отримуємо експоненціальну залежність

$$\xi \approx \frac{k}{b} \exp (at) \approx \xi_0 \exp (at). \quad (7)$$

А при малих at (обмежені ресурси), що фізично означає відхилення від вихідного стану, отримуємо лінійну залежність

$$\xi \approx \xi_0 (1 + at) = \xi_0 + \xi_0 at. \quad (8)$$

Отже процес, аналогічний процесу розширеного відтворення в умовах обмежених ресурсів, описується логістичною кривою (функцією гі-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

перболічного тангенсу), при необмежених ресурсах – експонентою, а при малих – прямою.

Прогнозування визначальних характеристик технічних пристроїв може виконуватися з використанням як неперервних, так і ступінчатих функцій.

Розглянемо перший випадок, коли як безперервні функції можна використовувати такі залежності:

– лінійну $\xi = a + bt$; (9)

– експоненціальну $\xi = \xi_0 \exp(bt)$; (10)

– гіперболічну $\xi = A [1 + th(a + bt)]$. (11)

Нехай є інформація про зміну деяких визначаючих характеристик ξ у часі, що подана у формі сукупності N точок $\xi_1, t_1, \xi_2, t_2, \dots, \xi_N, t_N$.

У випадку лінійної функції

$$\xi = a + bx, \quad (12)$$

де

$$x = t - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i; \quad (13)$$

$$a = t - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi_i; \quad (14)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N \xi_i x_i}{\sum_{i=1}^N x_i^2}. \quad (15)$$

Помилка ξ , визначається з рівняння (12)

$$\sigma_\xi = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^N x_i^2} \left[Nx^2 + \sum_{i=1}^N x_i^2 \right]}, \quad (16)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення величин ξ_i від загальної тенденції розвитку, яку наближено можна визначити за формулою

$$\sigma \leq \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\xi_i - a - bx_i)^2}. \quad (17)$$

У випадку експоненціальної функції можна застосувати такий наближений метод

$$\xi = \xi_0 \exp(bt). \quad (18)$$

Звідси

$$\ln \xi = \ln \xi_0 + bt. \quad (19)$$

Позначимо

$$\ln \xi = y, \quad (20)$$

$$\ln \xi_0 = a. \quad (21)$$

Перейдемо тепер від t до нової змінної x за умови, що $\sum_{i=1}^N x_i = 0$, де x_i – наявні ординати.

Очевидно, що

$$x = t - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i. \quad (22)$$

Тоді

$$y = a + bx. \quad (23)$$

За наявною інформацією можна вирахувати y_i та x_i , визначити a та b методом найменших квадратів для лінійної функції

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}, \quad b = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i}{\sum_{i=1}^N x_i^2}. \quad (24)$$

Похибку вихідної інформації σ наближено можна обчислити, виходячи з відхилень дослідних точок від розрахункових

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - a - bx_i)^2}{N-1}}.$$

Результати

За приведеною методикою виконаємо розрахунки ξ_i для нетягового та тягового рухомого складу. В табл. 1 наведені характеристики змінення з часом t_i відношення вантажопідйомності до об'єму кузова напіввагонів ξ_{i_n} (графи 1, 2, 3 по 15 вагонах ($N=15$)) та маси до потужності для тягового рухомого складу ξ_{i_t} (графи 1, 2, 3 по 12 локомотивах ($N=10$)). Виходячи з вказаних даних, визначено очікувану величину відношення вантажопідйомності до об'єму кузова ξ_{i_n} для напіввагонів та потужності до

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

маси ξ_{i_t} для тягового рухомого складу в 2016 році і ступінь достовірності прогнозу.

Використовуючи формулу (20), послідовно розраховано y_i , x_i , $x_i y_i$, x_i^2 . Далі розраховуємо a та b за формулами (24)

– для нетягового рухомого складу:

$$a_n = \frac{-0,9125}{15} = -0,0608.$$

$$b_n = \frac{-3,553}{1917} = -0,0019.$$

– для тягового рухомого складу:

$$a_m = \frac{37,22}{10} = 3,722.$$

$$b_m = \frac{-0,38}{2192} = -0,00017.$$

Таблиця 1

Результати виконаних розрахунків

Table 1

Results of the calculations

Для нетягового рухомого складу							
Модель вагона	ξ_i	t_i	y_i	x_i	$x_i y_i$	x_i^2	$(y_i - a - bx_i)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
12-726-05	0,9091	1969	-0,0953	-20	1,9062	400	0,001647
12-532-80	0,9452	1973	-0,0564	-16	0,9016	256	0,000239
12-1000-01	0,8904	1977	-0,1161	-12	1,3929	144	0,00074
12-1000	0,9452	1979	-0,0564	-10	0,5635	100	0,001685
12-753	0,9324	1983	-0,07	-6	0,4198	36	0,001982
12-119-02	0,7841	1985	-0,2432	-4	0,9729	16	0,014453
12-127	0,9211	1989	-0,0822	0	0	0	0,003346
12-764	0,9459	1990	-0,0556	1	-0,0556	1	0,007882
12-132	0,7898	1992	-0,236	3	-0,708	9	0,00691
12-127	0,9211	1989	-0,0822	0	0	0	0,003346
12-764	0,9459	1990	-0,0556	1	-0,0556	1	0,007882
12-132	0,7898	1992	-0,236	3	-0,708	9	0,00691
12-1295	0,8523	1995	-0,1598	6	-0,9591	36	0,000034
12-295H	0,8485	1996	-0,1643	7	-1,1501	49	0,000032
12-791	0,875	1999	-0,1335	10	-1,3353	100	0,002423
12-132-03	0,7898	2004	-0,236	15	-3,5402	225	0,001019
12-1592	0,8612	2005	-0,1494	16	-2,39	256	0,003479
12-7023	0,7811	2006	-0,247	17	-4,1996	289	0,001184
Σ	–	29 842	-2,1012	–	-8,181	1917	0,047054

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Закінчення табл. 1

End of table 1

Для тягового рухомого складу							
Модель тепловоза	ξ_i	t_i	y_i	x_i	$x_i y_i$	x_i^2	$(y_i - a - bx_i)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
ТГ100	53,3	1959	3,99	-17	-67,80	289	0,06951
ТГ101	46	1960	3,84	-16	-61,45	256	0,01347
ТГ102	41	1964	3,72	-12	-44,70	144	0,00000
ТГ106	33,5	1964	3,52	-12	-42,27	144	0,04052
ТЕ109	40	1969	3,70	-7	-25,90	49	0,00051
ТЭ120	33	1976	3,51	0	0,00	0	0,04592
2ТЕ137	37,5	1985	3,64	9	32,72	81	0,00714
2ТЕ126	63	1987	4,16	11	45,71	121	0,19029
2ТЕ116УП	38,6	1994	3,66	18	65,96	324	0,00291
ТЕП 150	32	2004	3,48	28	97,34	784	0,05774
Σ	–	19 762	37,22	–	-0,38	2192	0,42802

За формулою (25), після попередніх розрахунків в графі 8 отримано σ_n , σ_T

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{0,047054}{15-1}} = 0,05797;$$

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{0,42802}{10-1}} = 0,02378.$$

Для визначення очікуваної величини ξ в потрібному році на основі формул (20), (23) та (22) запишемо

$$\xi = \exp \left[a + b \left(t - \frac{1}{N} \sum_i t_i \right) \right],$$

звідки для нетягового та тягового рухомого складу на 2016 р.

$$\xi_n = \exp \left[-0,1401 - 0,0043(2016 - 29842/15) \right] =$$

$$= 0,776 \text{ т/м}^3;$$

$$\xi_m = \exp \left[3,722 - (-0,00017) \left(2016 - \frac{19762}{10} \right) \right] =$$

$$= 41,0417 \text{ кг/к.с.}$$

Враховуючи, що $c = t_{i\max} - t_{i\min}/2$, розрахуємо середньоквадратичну помилку прогнозу

$$\sigma_y = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \sqrt{1 + 3 \left(\frac{t - \frac{1}{N} \sum_i t_i}{c} \right)^2},$$

$$\sigma_{y_n} = \frac{0,05797}{\sqrt{15}} \sqrt{1 + 3 \left(\frac{2016 - \frac{29842}{15}}{\frac{2006 - 1969}{2}} \right)^2} =$$

$$= 0,0394 \text{ т/м}^3;$$

$$\sigma_{y_m} = \frac{0,02378}{\sqrt{10}} \sqrt{1 + 3 \left(\frac{2016 - \frac{19762}{10}}{\frac{2004 - 1959}{2}} \right)^2} =$$

$$= 0,024699 \text{ кг/к.с.}$$

Оскільки результати статистичного прогнозування відрізняються незначно від результатів евристичного прогнозування, можна припустити, що в розглянутому проміжку часу стрибків

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

не передбачається. Тоді можна використати обидва методи та повторити розрахунки, включивши нові напіввагони та дизелі, що встановлюються на модернізовані локомотиви ЧМЕЗП, Caterpillar 3512B DITA, як додаткові точки ($N=16$) та ($N=11$) відповідно.

Через те, що порядок розрахунків в цьому випадку такий же, як і в попередньому, наведемо результати розрахунку

$$\xi_{i_n} = 0,7998 \text{ т/м}^3, \sigma_{y_n} = 0,0176 \text{ т/м}^3;$$

$$\xi_{i_m} = 42,775 \text{ кг/к.с.}, \sigma_{y_m} = 0,001862 \text{ кг/к.с.},$$

тобто математичне очікування величини, яка прогнозується, змінюється слабо.

Наукова новизна та практична значимість

Запропонована методика прогнозування дозволить достовірно визначити технічні показники рухомого складу, які задовольнятимуть сучасним вимогам залізничних перевезень, у тому числі на стадії проектування та при виконанні модернізації існуючих транспортних засобів.

Висновки

1 На підставі представленої методики можна констатувати, що прогнозування оцінки характеристик транспортних засобів дозволяє визначати очікувану величину ξ_i з високою точністю ступеня достовірності прогнозу та незначною середньоквадратичною помилкою.

2 Процес, що аналогічний процесу розширеного відтворення в умовах обмежених ресурсів, описується логістичною кривою (функцією гіперболічного тангенсу), при необмежених ресурсах – експонентою, а при малих – прямою.

Прогнозування визначальних характеристик технічних пристроїв може виконуватися з використанням як неперервних, так і ступінчатих функцій.

3 Для нетягового рухомого складу без інноваційних підходів поки не вдається добитися збільшення $\xi_i = Q/V$, тобто приведеної ваги до об'єму напіввагона. Це дає підставу стверджувати про необхідність заходів в цьому напрямку.

4 Стосовно тягового рухомого складу можна зробити висновок, що точність розрахунків знаходиться на достатньо великому рівні, тому що наприклад, починаючи з 2014 року на залізницях Казахстану експлуатується тепловоз ТЕ33А (Evolution ES44ACi) – вантажний тепловоз з асинхронним тяговим приводом, що випускається локомотивобудівним заводом АТ «Локомотив Курастиру Зауити» в Астані, ξ_i якого співпадає з розрахунковим.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боднар, Б. Е. Использование метода экспертных оценок при разработке диагностического обеспечения локомотивов / Б. Е. Боднар, А. Б. Очкасов // Проблемы создания новых машин и технологий : сб. науч. тр. / Кременчуг. гос. политехн. ун-т. – Кременчуг, 2001. – Вып. 1 (10). – С. 217–220.
2. Болотин, В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В. В. Болотин. – Москва : Машиностроение, 1984. – 312 с.
3. Болотин, М. М. Отказы и срок службы грузового вагона / М. М. Болотин, В. Г. Воронников // Мир транспорта. – 2012. – № 2. – С. 152–161.
4. Капица, С. П. Синергетика и прогноз будущего / С. П. Капица, С. П. Курдюмов, Г. Г. Мадиевский. – Москва : Едиториал УРСС, 2003. – 290 с.
5. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008–2020 роки. – Київ : Укрзалізниця, 2008. – 182 с.
6. Крашенінін, О. С. Визначення граничних термінів довговічності тягового рухомого складу / О. С. Крашенінін, О. М. Обозний // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Харків, 2011. – Вып. 122. – С. 134–140.
7. Крашенінін, О. С. Вплив напрацювання локомотивів на коректування періодичності технічного обслуговування, поточного ремонту / О. С. Крашенінін // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 1 (55). – С. 148–154. doi: 10.15802/STP2015/38265.
8. Крашенінін, О. С. Модель визначення термінів заміни рухомого складу / О. С. Крашенінін, А. П. Фалендиш // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2005. – № 3 (85). – С. 126–130.
9. Лисичкин, В. А. Принятие решений на основе прогнозирования в условиях АСУ / В. А. Лисичкин, Е. И. Голынкер. – Москва : Финансы и статистика, 1981. – 50 с.
10. Лобойко, Л. М. Стан вагонного парку та вагоноремонтної бази в Україні / Л. М. Лобойко,

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- Ю. С. Бараш // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 19. – С. 126–132.
11. Лукинский, В. С. Прогнозирование надежности автомобилей / В. С. Лукинский, Е. И. Зайцев. – Ленинград : Политехника, 1991. – 224 с.
 12. Методологічні аспекти забезпечення надійності та безпеки складних технічних об'єктів на залізничному транспорті в умовах обмежених ресурсів / О. Л. Голубенко, Д. М. Марченко, В. Ф. Пожидаєв, Р. А. Семикоз // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2003. – № 12 (70). – С. 100–105.
 13. Мурадян, Л. А. Методологические основы определения эксплуатационных характеристик несамоходного подвижного состава / Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, А. А. Мищенко // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 169–179. doi: 10.15802/stp2016/61044.
 14. Cantos, P. Efficiency Measures and Output Specification: The Case of European Railways / P. Cantos, J. M. Pastor, L. Serrano // J. of Transportation and Statistics. – 2000. – Vol. 3, No. 3. – P. 61–68.
 15. Determination of dynamic performance of freight cars taking into account technical condition of side bearers / S. Myamlin, L. Neduzha, O. Ten, A. Shvets // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 1 (61). – P. 162–169. doi: 10.15802/stp2013/9589.
 16. Hughes, M. Cost and capacity drive high speed train design / M. Hughes // Railway Gazette International. – 2010. – № 5. – P. 37–39.
 17. Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models / C. Baykasoglu, E. Sunbuloglu, S. E. Bozdog [et al.] // Intern. Iron & Steel Symposium (02.04–04.04.2012) / Karabük University. – Istanbul, 2012. – P. 579–586.
 18. Railway freight car truck ZK1 // Chinese Railways Equipment. – 2013. – No. 7. – P. 56–59.

А. С. КРАШЕНИНИН^{1*}, А. В. КЛИМЕНКО^{2*}, Е. В. ПОНОМАРЕНКО^{3*}

^{1*}Каф. «Експлуатація і ремонт подвижного складу», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 19 99, ел. пошта egrs1@mail.ua, ORCID 0000-0001-5079-5903

^{2*}Каф. «Експлуатація і ремонт подвижного складу», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 19 99, ел. пошта egrs1@mail.ua, ORCID 0000-0002-1489-0062

^{3*}Каф. «Експлуатація і ремонт подвижного складу», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 19 99, ел. пошта egrs1@mail.ua, ORCID 0000-0002-9608-8849

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК НОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Цель. Научная работа своей целью имеет прогнозирование оценок характеристик тяговых и нетяговых транспортных средств, которые будут удовлетворять и соответствовать потребностям и требованиям постоянно развивающейся железнодорожной отрасли. **Методика.** Анализ технического состояния существующего парка подвижного состава (тягового и нетягового) железных дорог Украины свидетельствует о его значительном сокращении, которое происходит в связи с моральным и физическим износом, а также недостаточным и ограниченным приобретением новых единиц тягового и нетягового подвижного состава в нужном количестве. В сложившейся ситуации возникает необходимость поиска методик определения технических характеристик подвижного состава. Одной из таких актуальных и эффективных мер является проведение прогнозирования определяющих характеристик транспортных средств на основании процессов их воспроизводства в условиях ограниченных ресурсов с использованием непрерывной экспоненциальной функции. На основе функции скорости прироста степени прогнозируемого показателя транспортного средства определяется логистическая характеристика, которая при неограниченных ресурсах имеет вид экспоненты, а при малых – прямой. **Результаты.** По предложенной методике, исходя из полученных данных, определено ожидаемую (перспективную) величину ξ_i . Это отношение грузоподъемности к объему кузова для нетягового подвижного состава (полувагонов) и массы к мощности – для тягового подвижного состава, определяющие степень достоверности прогноза и среднеквадратичную ошибку прогноза. Они показывают высокую точность прогноза по выполненной методике. В результате это позволит оценивать с высокой достоверностью необходимые характеристики транспортных средств в прогнозируемом году.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Научная новизна. Авторами предложена концепция прогнозирования оценки характеристик транспортных средств для принятия решений относительно их перспективности. **Практическая значимость.** Методика прогнозирования позволит достоверно определить технические показатели тягового и нетягового подвижного состава, которые будут удовлетворять современным требованиям железнодорожных перевозок, в том числе на стадии проектирования и при выполнении модернизации существующих транспортных средств.

Ключевые слова: транспортные средства; технические характеристики транспортных средств; ресурсы предприятий

O. S. KRASHENININ^{1*}, O. V. KLYMENKO^{2*}, O. V. PONOMARENKO^{3*}

^{1*}Dep. «Exploitation and Repair of Rolling Stock», Ukrainian State University of Railway Transport, Feierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel.+38 (057) 730 19 99, e-mail errs1@mail.ua, ORCID 0000-0001-5079-5903

^{2*}Dep. «Exploitation and Repair of Rolling Stock», Ukrainian State University of Railway Transport, Feierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel.+38 (057) 730 19 99, e-mail errs1@mail.ua, ORCID 0000-0002-1489-0062

^{3*}Dep. «Exploitation and Repair of Rolling Stock», Ukrainian State University of Railway Transport, Feierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel.+38 (057) 730 19 99, e-mail errs1@mail.ua, ORCID 0000-0002-9608-8849

FORECASTING OF PERFORMANCE EVALUATION OF NEW VEHICLES

Purpose. The research work focuses on forecasting of performance evaluation of the tractive and non-tractive vehicles that will satisfy and meet the needs and requirements of the railway industry, which is constantly evolving.

Methodology. Analysis of the technical condition of the existing fleet of rolling stock (tractive and non-tractive) of Ukrainian Railways shows a substantial reduction that occurs in connection with its moral and physical wear and tear, as well as insufficient and limited purchase of new units of the tractive and non-tractive rolling stock in the desired quantity. In this situation there is a necessity of search of the methods for determination of rolling stock technical characteristics. One of such urgent and effective measures is to conduct forecasting of the defining characteristics of the vehicles based on the processes of their reproduction in conditions of limited resources using a continuous exponential function. The function of the growth rate of the projected figure degree for the vehicle ξ_i determines the logistic characteristic that with unlimited resources has the form of an exponent, and with low ones – that of a line. **Findings.** The data obtained according to the proposed method allowed determining the expected (future) value, that is the ratio of load to volume of the body for non-tractive rolling stock (gondola cars) and weight-to-power for tractive rolling stock, the degree of forecast reliability and the standard forecast error, which show high prediction accuracy for the completed procedure. As a result, this will allow estimating the required characteristics of vehicles in the forecast year with high accuracy. **Originality.** The concept of forecasting the characteristics of the vehicles for decision-making on the evaluation of their prospects was proposed. **Practical value.** The forecasting methodology will reliably determine the technical parameters of tractive and non-tractive rolling stock, which will meet the modern requirements of the railroading, including at the design stage and while upgrading the vehicles.

Keywords: vehicles; technical characteristics of vehicles; resources of enterprises

REFERENCES

1. Bodnar B.Ye., Ochkasov A.B. Ispolzovaniye metoda ekspertnykh otsenok pri razrabotke diagnosticheskogo obespecheniya lokomotivov [Use of expert evaluations method when developing diagnostic assurance for locomotives]. *Sbornik nauchnykh trudov Kremenchugskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta «Problemy sozdaniya novykh mashin i tekhnologiy»* [Proc. of the Kremenchug State Polytechnic University «Problems of development of new machines and technologies»], 2001, no. 1 (10). pp. 217-220.
2. Bolotin V.V. *Prognozirovaniye resursa mashin i konstruktsey* [The resource forecasting of machines and structures]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1984. 312 p.
3. Bolotin M.M., Vorotnikov V.G. Otkazy i srok sluzhby gruzovogo vagona [Failures and service life of a freight car]. *Mir transporta – World of Transport*, 2012, no. 2, pp. 152-161.
4. Kapitsa S.P., Kurdyumov S.P., Madinetsky G.G. *Sinergetika i prognoz budushchego* [Synergetics and forecasts of the future]. Moscow, Yeditorial URSS Publ., 2003. 290 p.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

5. *Kompleksna prohrama onovlennia zaliznychnoho rukhomoho skladu Ukrainy na 2008–2020 roky* [The comprehensive program of updating the railway rolling stock of Ukraine for 2008–2020 years]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2008. 182 p.
6. Krashenin O.S., Oboznyi O.M. Vyznachennia hranychnykh terminiv dohovichnosti tiahovoho rukhomoho skladu [Deadlines definition of traction rolling stock longevity]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT* [Bulletin of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2011, issue 122, pp. 134–140.
7. Krashenin O.S. Vplyv napratsiuвання lokomotyviv na korektuvannia periodychnosti tekhnichnoho obsluhovuvannia, potochnoho remontu [The effect of locomotive hours on adjusting periodicity of maintenance service and current repair]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 1 (55), pp. 148–154. doi 10.15802/STP2015/38265.
8. Krashenin O.S., Falendysh A.P. Model vyznachennia terminiv zaminy rukhomoho skladu [Model to determine the timing of replacement of the rolling stock]. *Visnyk Skhidnoukrayinskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalia* [Bulletin of East Ukrainian Volodymyr Dahl National University], 2005, no. 3 (85), pp. 126–130.
9. Lisichkin V.A., Golyner Ye.I. *Prinyatiye resheniy na osnove prognozirovaniya v usloviyakh ASU* [Decision making on the basis of forecasting in the conditions of ACS]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1981. 50 p.
10. Loboiko L.M., Barash Yu.S. Stan vahonnoho parku ta vahonoremontnoi bazy v Ukraini [The condition of rolling stock and repair base in Ukraine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 126–132.
11. Lukinskiy V.S., Zaytsev Ye.I. *Prognozirovaniye nadezhnosti avtomobiley* [Forecasting of cars reliability]. Leningrad, Politekhnik Publ., 1991. 224 p.
12. Holubenko O.L., Marchenko D.M., Pozhydaev V.F., Semykoz R.A. Metodolohichni aspekty zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky skladnykh tekhnichnykh ob'ektiv na zaliznychnomu transporti v umovakh obmezhenykh resursiv [Methodological aspects of ensuring the reliability and safety of complex technical objects of railway transport in the conditions of limited resources]. *Visnyk Skhidnoukrayinskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalia* [Bulletin of East Ukrainian Volodymyr Dahl National University], 2003, no. 12 (70), pp. 100–105.
13. Muradian L.A., Shaposhnyk V.Yu., Mishchenko A.A. Metodologicheskiye osnovy opredeleniya ekspluatatsionnykh kharakteristik nesamokhodnogo podvizhnogo sostava [Methodological fundamentals of determination of unpowered rolling stock maintenance characteristics]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2016, no. 1 (61), pp. 169–179. doi 10.15802/stp2016/61044.
14. Cantos P., Pastor J.M., Serrano L. Efficiency Measures and Output Specification: The Case of European Railways. *Jornal of Transport and Statistics*, 2000, vol. 3, no. 3, pp. 61–68.
15. Myamlin S., Neduzha L., Ten O., Shvets A. Determination of dynamic performance of freight cars taking into account technical condition of side bearers. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2013, no. 1 (61), pp. 162–169. doi: 10.15802/stp2013/9589.
16. Hughes M. Cost and capacity drive high speed train design. *Railway Gazette International*, 2010, no. 5, pp. 37–39.
17. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdog S. E., Aruk F., Toprak T., Mugan A. Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. Intern. Iron & Steel Symposium (02.04.–04.04.2012). Karabük University, Türkiye, 2012, pp. 579–586.
18. Railway freight car truck ZK1. *Chinese Railways Equipment*, 2013, no. 7, pp. 56–59.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Б. Є. Боднарем (Україна); д.т.н., проф. Д. С. Жалкіним (Україна)

Надійшла до редколегії: 22.06.2016

Прийнята до друку: 19.10.2016

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.423-83

А. Е. ДРУБЕЦКИЙ^{1*}

^{1*}Каф. «Электроподвижной состав железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 33 55 38, эл. почта drubetskiy@mail.ru, ORCID 0000-0001-5691-0925

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО И ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ТОКА

Цель. В работе необходимо: 1) ознакомить читателя с современной классификацией средств измерения и диагностики, с проблемами автоматизации измерений основных параметров при выполнении программы квалификационных испытаний тяговых электродвигателей; 2) дать рекомендации по повышению точности измерений, снижению трудоёмкости работ для проведения измерений, снижению требований к квалификации обслуживающего персонала; 3) представить практическую реализацию измерительного комплекса, построенного на основании рекомендаций, изложенных в статье. **Методика.** Приведена классификация средств измерения и диагностики. Рассмотрен перечень оборудования, которое может использоваться в измерительных комплексах, а также варианты стороннего измерительного комплекса и измерительного комплекса, использующего систему управления стендом. Предложены их функциональные схемы. Сопоставлены достоинства и недостатки данных схем для составления рекомендаций по областям их оптимального применения. **Результаты.** Проанализировав функциональные схемы измерительных комплексов, было установлено, что использование микроконтроллера системы управления в качестве измерительного комплекса целесообразно в случае, если измерения носят, в основном, функцию контроля над процессом испытаний. Использование стороннего измерительного комплекса более целесообразно в тех случаях, когда требуется: исключить зависимость от системы управления стендом, обеспечить высокую мобильность, а также снизить требования к квалификации обслуживающего персонала. **Научная новизна.** Автором произведен краткий обзор средств измерения. Разработаны функциональные схемы измерительных комплексов, использующих систему управления стендом и стороннего измерительного комплекса, предложены критерии для оценки их оптимального применения. **Практическая значимость.** На основе предложенной функциональной схемы был собран измерительный комплекс на базе аппаратного и программного обеспечения компании National Instruments. В качестве первичных преобразователей для измерений токов и напряжений были использованы датчики фирмы LEM. Благодаря компактным размерам шасси, его удалось объединить в одном корпусе с блоком питания для датчиков. Таким образом, удалось уменьшить габариты всего комплекса, упростить и ускорить его подготовку к измерениям.

Ключевые слова: квалификационные испытания; тяговые электродвигатели; стенд взаимной нагрузки; измерительный комплекс; функциональная схема

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Введение

При автоматизации приемо-сдаточных испытаний тяговых электродвигателей возникает необходимость в автоматизированном сборе и обработке данных, получаемых в процессе испытаний [2, 7].

При проведении приемо-сдаточных испытаний необходимо производить измерения [3,11]:

- тока якоря ТЭД;
- тока в обмотке возбуждения ТЭД;
- напряжения на ТЭД;
- сопротивления обмоток;
- электрической прочности межвитковой и корпусной изоляции;
- сопротивления изоляции относительно корпуса и между обмотками;
- температуры обмоток ТЭД;
- частоты вращения ТЭД;
- биения коллектора;
- вибрации.

Задача измерения может быть решена двумя способами:

1. Оборудовать стенд сторонним измерительным комплексом.

2. Использовать измерительные каналы системы управления стендом и передавать данные на ЭВМ для последующей их обработки и хранения.

В данной работе будут проанализированы оба варианта, рассмотрены их достоинства и недостатки, а также будут сделаны выводы о возможных областях их применения.

Цель

Целью данной работы является ознакомление с возможными вариантами построения измерительных комплексов, рекомендации по выбору измерительного комплекса применительно к испытаниям ТЭД, а также обзор существующего измерительного комплекса.

Методика

Классификация средств измерения и диагностики приведена на рис. 1 [1].

Ниже представлено оборудование измерительного комплекса, принадлежащее к рассмотренным выше классам средств измерения и диагностики.

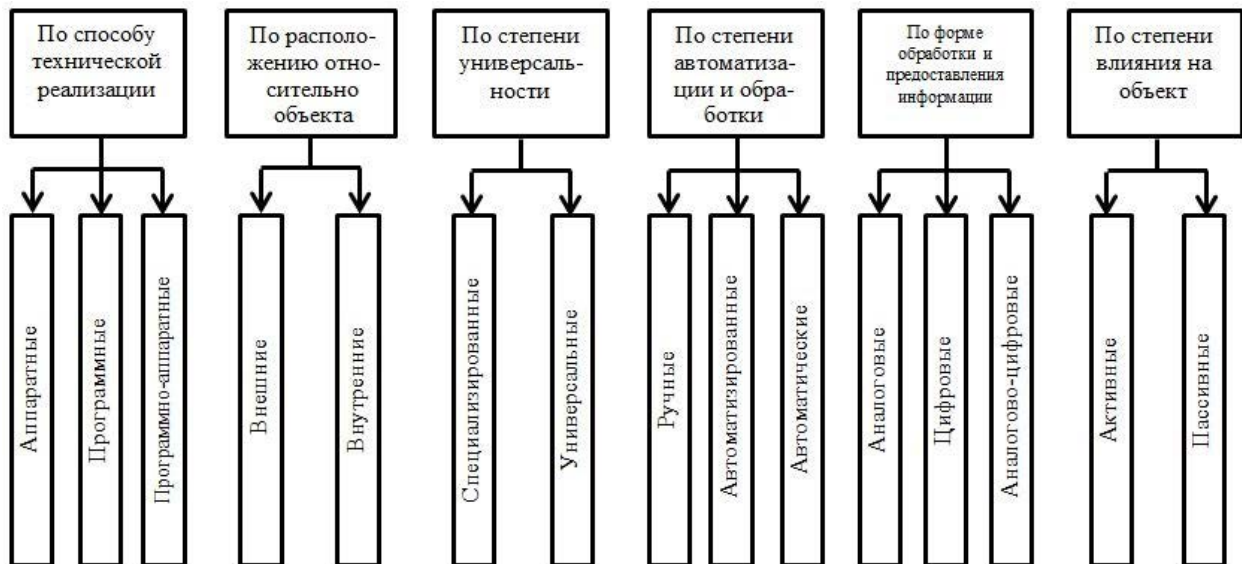


Рис. 1. Классификация средств измерения и диагностики

Fig. 1. Classification of measuring instruments and diagnostics

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

К аппаратным средствам относятся:

- датчики тока и напряжения;
- датчик частоты вращения;
- датчики температуры;
- датчики вибрации;
- видеокамеры для оценки коммутации;
- средства визуализации.

К программным средствам относятся:

- специализированные программы обработки данных;
- универсальные программы обработки данных.

К программно-аппаратным средствам относятся:

- микроконтроллеры системы управления стендом взаимной нагрузки;
- аналогово-цифровые преобразователи;
- ЭВМ для обработки отображения и хранения данных и результатов испытаний.

К внешним средствам относятся:

- датчики тока, напряжения;
- датчики вибрации.

К вмонтированным средствам относятся:

- датчики температуры;
- видеокамеры для оценки коммутации.

К специализированным средствам относятся:

- специализированные программы обработки данных;
- датчики тока и напряжения;

– датчик частоты вращения;

– датчики температуры;

– датчики вибрации.

К универсальным средствам относятся:

– универсальные программы обработки данных;

– микроконтроллеры системы управления стендом взаимной нагрузки;

– ЭВМ для обработки отображения и хранения данных и результатов испытаний;

– видеокамеры для оценки коммутации;

– аналогово-цифровые преобразователи;

– средства визуализации.

К аналоговым средствам относятся:

– аналоговые датчики.

К цифровым средствам относятся:

– ЭВМ для обработки отображения и хранения данных и результатов испытаний;

– средства визуализации.

К аналогово-цифровым средствам относятся:

– цифровые датчики;

– видеокамеры для оценки коммутации;

– микроконтроллеры системы управления стендом взаимной нагрузки.

По степени влияния на объект все вышеперечисленные чувствительные элементы являются пассивными.

На рис. 2 представлена функциональная схема стороннего измерительного комплекса.

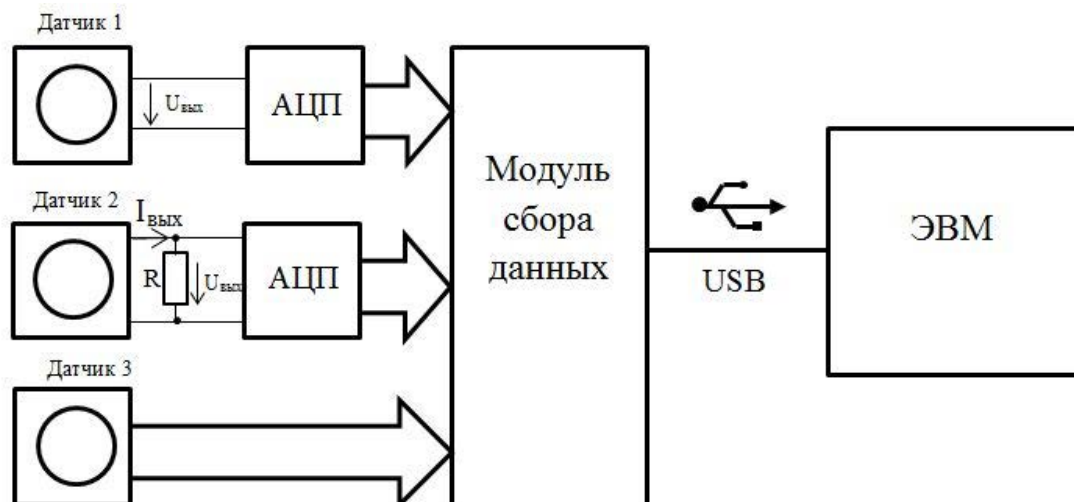


Рис. 2. Функциональная схема стороннего измерительного комплекса

Fig. 2. Functional diagram of a third-party measuring complex

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Под датчиками № 1, 2 и 3 условно обозначены датчики с выходными сигналами в виде напряжения, тока и цифрового кода. Как видно из рис. 2, все АЦП передают сигнал на модуль сбора данных, который в свою очередь по каналу USB передает данные на ЭВМ.

Данное решение обладает рядом достоинств, главными из которых являются возможность наращивания количества датчиков в пределах доступных измерительных каналов без изменений в аппаратной конфигурации и возможность подбора оптимальной частоты дискретизации для нужд измерений [5]. Для обработки и сохранения данных на ЭВМ могут применяться как специализированные программы, написанные для конкретной задачи, так и универсальные, позволяющие пользователям самим выбрать необходимые действия обработки данных.

На рис. 3 представлена функциональная схема измерительного комплекса, использующего систему управления стендом.

Данное решение позволяет использовать уже установленные датчики системы управления для измерения таких параметров, как ток якоря и ток обмотки возбуждения ТЭД [12–14]. Для измерения других параметров необходимо использовать дополнительные датчики, подключенные к микроконтроллеру системы управления. На рис. 3 указано дополнительное АЦП, которое может быть подключено к микроконтроллеру, если для измерений требуется

более высокая частота дискретизации или большая разрядность АЦП. Стоит отметить, что для работы такого измерительного комплекса требуется более сложное программное обеспечение системы управления и более сложный, а значит, и более дорогой микроконтроллер. Программное обеспечение для обработки данных из каналов системы управления, как правило, требует специальных, соответственно, для любых изменений в настройках программы глубоких знаний в программировании.

Результаты

Ниже представлен измерительный комплекс, собранный на базе аппаратного и программного обеспечения компании National Instruments.

Аппаратная платформа позволяет выполнять измерения широкого диапазона физических величин, требующих различных частот дискретизации для их правильного визуального отображения и адекватной обработки. При этом аппаратная платформа имеет модульную структуру, позволяющую при наличии одного шасси устанавливать на него модули для измерения большинства типов сигналов [9, 10]. Следует отметить, что аппаратная платформа полностью удовлетворяет нуждам приемо-сдаточных испытаний ТЭД по части измерения различных физических величин.

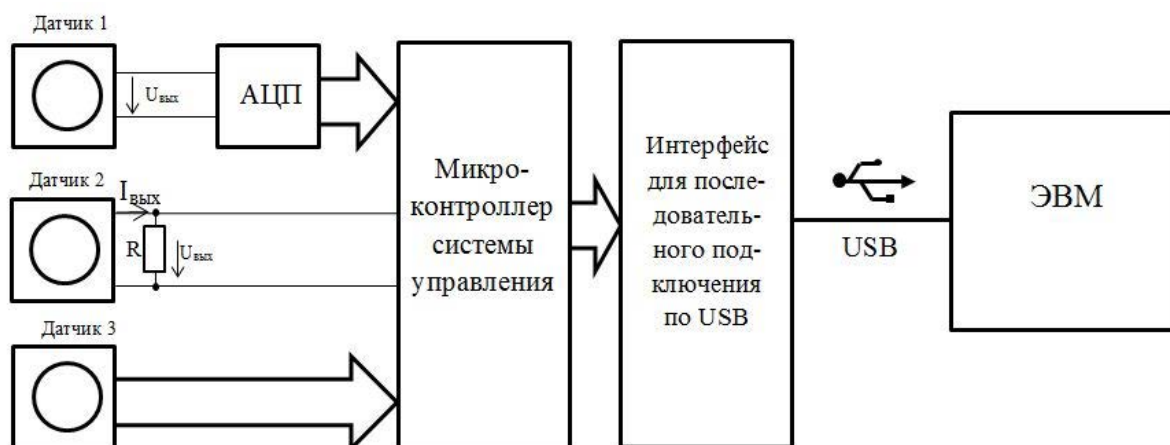


Рис. 3. Функциональная схема измерительного комплекса, использующего систему управления стендом

Fig. 3. Functional diagram of measuring complex using a stand management system

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Программная платформа представлена средой графического программирования LabVIEW (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrumentation **E**ngineering **W**orkbench), которая поддерживает как процедурное программирование, так и объектно-ориентированное [6]. Следует отметить, что данная среда, прежде всего, ориентирована на работу с потоками данных и имеет для этого ряд базовых функций. Кроме этого, она содержит обширные библиотеки функций, разработанных под узкоспециальные задачи (обработка звуков, видео и т.п.). LabVIEW позволяет инженерам, обладающим базовыми знаниями в программировании, легко создавать и отлаживать программы практически любой сложности. Вместе с LabVIEW пользователям предоставляется программа SignalExpress, она не требует навыков программирования и сразу дает возможность пользователю приступить к записи и обработке данных. Так как SignalExpress является программой, а не средой разработки, следовательно, она менее универсальна, чем LabVIEW, но это частично компенсируется возможностью интеграции приложений, созданных с помощью LabVIEW (так называемых виртуальных приборов) в SignalExpress. Однако для нужд приемо-сдаточных испытаний в полной мере хватает возможностей SignalExpress.

Для построения комплекса использовались:

- 4-х слотовое USB-шасси NI CompactDAQ [9];
- 32-х канальное АЦП для измерения напряжения NI 9205 [8];
- 4-х канальное АЦП для измерения тока NI 9227 [8];
- датчики LEM [4];
- встроенный регулируемый блок питания для датчиков;
- соединительные провода;
- ноутбук с установленными на него программами LabVIEW и SignalExpress.

Благодаря компактным размерам шасси, его удалось объединить в одном корпусе с блоком питания для датчиков. Таким образом, удалось уменьшить габариты всего комплекса, упростить и ускорить его подготовку к измерениям.

Научная новизна и практическая значимость

В работе проведен обзор средств измерения и диагностики. Представлены и проанализированы возможные варианты построения измерительного комплекса. В качестве примера представлен существующий измерительный комплекс.

Выводы

Сравнивая вышеуказанные решения, можно заключить, что применение стороннего измерительного комплекса имеет следующие преимущества:

- независимость от системы управления и независимость системы управления от измерительного комплекса;
- большую универсальность, благодаря модульной конструкции современных измерительных систем;
- высокую мобильность, возможность использовать не только непосредственно на стенде;
- относительно невысокие требования к подготовке обслуживающего персонала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Айфичер, Э. С. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис. – 2-е изд. – Москва : Вильямс, 2008. – 992 с.
2. Афанасов, А. М. Системы взаимного нагружения тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока : монография / А. М. Афанасов. – Днепропетровск : Маковецкий, 2012. – 248 с.
3. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. – Введ. 1983-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1981. – 34 с.
4. Датчики LEM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lem.com/ru/ru>. – Загл. с экрана. – Проверено : 08.11.2016.
5. Кузнецов, В. Г. Експериментальне дослідження «умовних втрат» електроенергії в тяговій мережі / В. Г. Кузнецов, Т. І. Кирилюк, Ю. М. Сергатиї // Вост.-Европ.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

- журн. передовых технологий. – 2011. – № 4/8. – С. 29–33.
6. LabVIEW [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.labview.ru/products/27/>. – Загл. с экрана. – Проверено : 08.11.2016.
 7. Лоза, П. О. Покращення енергетичних властивостей стенда для випробувань колекторних тягових двигунів локомотивів / П. О. Лоза // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 22. – С. 69–71.
 8. Модули cDAQ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.labview.ru/products/195/>. – Загл. с экрана. – Проверено : 08.11.2016.
 9. NI CompactDAQ-законченые USB-или Ethernet-системы сбора данных, предназначенные как для измерений сигналов, так и для управления технологическими процессами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.labview.ru/products/193/>. – Загл. с экрана. – Проверено : 08.11.2016.
 10. NI CompactRIO – недорогая реконфигурируемая платформа управления и сбора данных для приложений, требующих высокой производительности и надежности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.labview.ru/products/185/>. – Загл. с экрана. – Проверено : 08.11.2016.
 11. Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів : ЦТ-0204. – Київ : САМ, 2012. – 286 с.
 12. Castañeda, C. E. Direct current motor control based on high order neural networks using stochastic estimation / C. E. Castañeda, P. Esquivel // The 2010 Intern. Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) (18.07–23.07.2010). – Barcelona, Spain, 2010. – P. 1515–1520.
 13. Discrete-Time Neural Sliding-Mode Block Control for a DC Motor With Controlled Flux / C. E. Castaneda, A. G. Loukianov, E. N. Sanchez, C.-T. Bernardino // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2012. – Vol. 59. – Iss. 2. – P. 1194–1207. doi: 10.1109/TIE.2011.2161246.
 14. Hayek, El. J. Experiences with a traction drive laboratory model / El. J. Hayek, T. J. Sobczyk, G. Skarpetowski // Electromotion. – 2010. – Vol. 17. – Iss. 1. – P. 30–36.

А. Ю. ДРУБЕЦЬКИЙ^{1*}

^{1*}Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 33 55 38, ел. пошта drubeskiy@mail.ru, ORCID 0000-0001-5691-0925

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРИЙМАЛЬНО-ЗДАВАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО ТА ПУЛЬСУЮЧОГО СТРУМУ

Мета. У роботі необхідно: 1) ознайомити читача з сучасною класифікацією засобів вимірювання та діагностики, з проблемами автоматизації вимірювань основних параметрів при виконанні програми кваліфікаційних випробувань тягових електродвигунів; 2) дати рекомендації щодо підвищення точності вимірювань, зниження трудомісткості робіт для виконання вимірювань, зниження вимог до кваліфікації обслуговуючого персоналу; 3) надати практичну реалізацію вимірювального комплексу, побудованого на підставі практичних рекомендацій, викладених у статті. **Методика.** Наведено класифікацію засобів вимірювання та діагностики. Розглянуто перелік обладнання, яке може використовуватися у вимірювальних комплексах, а також варіанти стороннього вимірювального комплексу та вимірювального комплексу, що використовує систему управління стендом. Запропоновано їх функціональні схеми. Зіставлено переваги й недоліки цих схем для складання рекомендацій по областях їх оптимального застосування. **Результати.** Проаналізувавши функціональні схеми вимірювальних комплексів, було встановлено, що використання мікроконтролера системи управління як вимірювального комплексу доцільно в разі, якщо вимірювання мають, в основному, функцію контролю над процесом випробувань. Використання стороннього вимірювального комплексу доцільніше

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

в тих випадках, коли потрібно: виключити залежність від системи управління стендом, забезпечити високу мобільність, а також знизити вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу. **Наукова новизна.** Автором виконаний стислий огляд засобів вимірювання. Розроблено функціональні схеми вимірювальних комплексів, що використовують систему управління стендом та стороннього вимірювального комплексу, запропоновані критерії для оцінки їх оптимального застосування. **Практична значимість.** На основі запропонованої функціональної схеми був зібраний вимірювальний комплекс на базі апаратного і програмного забезпечення компанії National Instruments. Як первинні перетворювачі для вимірювань струмів і напруг були використані датчики фірми LEM. Завдяки компактним розмірам шасі, його вдалося об'єднати в одному корпусі з блоком живлення для датчиків. Таким чином, вдалося зменшити габарити всього комплексу, спростити та прискорити його підготовку до вимірювань.

Ключові слова: кваліфікаційні випробування; тягові електродвигуни; стенд взаємного навантаження; вимірювальний комплекс; функціональна схема

A. YU. DRUBETSKYI^{1*}

^{1*}Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail drubetskiy@mail.ru, ORCID 0000-0001-5691-0925

AUTOMATED MEASURING COMPLEX FOR ACCEPTANCE TESTING OF DC AND UNDULATED-CURRENT TRACTION MOTORS

Purpose. In the paper it is necessary: 1) to familiarize the reader with the modern classification of measurement and diagnostics, familiarize with problems of automating the measurement of basic parameters during program execution of qualification tests of traction motors; 2) to make recommendations to improve the measurement accuracy, reduce labor intensity of work for carrying out measurements, and reduce the requirements for the qualification of the staff; 3) to provide practical implementation of measurement system, built on the basis of the practical recommendations contained in the article. **Methodology.** The work presents the classification of measurement and diagnostic tools. The author considered a list of equipment that can be used in measurement systems, as well as third-party options for measuring complex and measuring complex using stand management system. Their functional schemes were proposed. The author compared the advantages and disadvantages of these schemes to make recommendations on areas of their optimal use. **Findings.** Having analyzed the functional scheme of measuring systems, it was found that the use of the control system microcontroller as a measuring complex is expedient if the measurements have largely a test process control function. The use of a third-party measuring complex is more appropriate in cases when it is required: to eliminate dependence on the stand management system, to provide high mobility and reduce the requirements for the qualification of the staff. **Originality.** The work presents a brief overview of the measurement means. The author developed the functional schemes of measuring systems using stand management system and third-party measuring complex, proposed the criteria for evaluating their optimal use. **Practical value.** Based on the proposed functional diagram, the measuring system on National Instruments hardware and software basis was set up. The sensors by LEM Company were used as primary transducers for the measurement of currents and voltages. Thanks to chassis compact size, it was united in one body with the power supply for sensors. Thus, it was possible to reduce the size of the entire complex, simplify and speed up its preparations for the measurements.

Keywords: qualification tests of traction motors; loading-back stand; measuring system; functional diagram

REFERENCES

1. Ayficher E.S., Dzhervis B.U. *Tsifrovaya obrabotka signalov: prakticheskiy podkhod* [Digital signal processing: a practical approach]. Moscow, Vilyams Publ., 2008. 992p.
2. Afanasov A.M. *Sistemy vzaimnogo nagruzeniya tyagovykh elektricheskikh mashin postoyannogo i pulsiruyushchego toka* [System of mutual loading of traction electric machines of direct and pulsating current]. Dnepropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2012. 248p.
3. GOST 2582-81. *Mashiny elektricheskoye vrashchayushchiesya tyagovyye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya*. [State Standard 2582-81. Rotating electrical machines for rail and road vehicles. General specifications]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 1981. 34 p.
4. *Datchiki LEM* (Sensors LEM). Available at: <http://www.lem.com/ru/ru> (Accessed 8 November 2016).

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

5. Kuznetsov V.H., Kyrlyuk T.I., Serhatyi Yu.M. Eksperymentalne doslidzhennia «umovnykh vtrat» elektro-enerhii v tiahovii merezhi [Experimental study of «conditional losses» in railway traction lines]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2011, issue 4/8, pp. 29-33.
6. LabVIEW. Available at: <http://www.labview.ru/products/27/n> (Accessed 8 November 2016).
7. Loza P.O. Pokrashchennia enerhetychnykh vlastyvostei stenda dlia vyprobuvan kolektornykh tiahovykh dvyhuniv lokomotyviv [The improved power properties of the test bench for the collector of traction engine]. *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. *Moduli cDAQ* (Modules). Available at: <http://www.labview.ru/products/195/> (Accessed 8 November 2016).
9. NI CompactDAQ-zakonchennyye USB-ili Ethernet-sistemy sbora dannykh, prednaznachennyye kak dlya izmereniy signalov, tak i dlya upravleniya tekhnologicheskimi protsessami (NI CompactDAQ – finished USB- or Ethernet-data collection systems used for the measurements of the signals and process control). Available at: <http://www.labview.ru/products/193/> (Accessed 8 November 2016).
10. NI CompactRIO – nedorogaya rekonfiguriruyemaya platforma upravleniya i sbora dannykh dlya prilozheniy, trebuyushchikh vysokoy proizvoditelnosti i nadezhnosti (NI CompactRIO – inexpensive reconfigurable platform of control and data collection for applications that require high performance and reliability). Available at: <http://www.labview.ru/products/185/> (Accessed 8 November 2016).
11. *Pravyla remontu elektrychnykh mashyn elektrovoziv i elektropoizdiv. TsT-0204* [Rules repair of electric machines of electric locomotives and electric trains. TsT-0204]. Kyiv, SAM Publ., 2012. 286 p.
12. Castaneda C.E., Esquivel P. Direct current motor control based on high order neural networks using stochastic estimation – Neural Networks (IJCNN). The 2010 Intern. Joint Conference on Neural Networks (IJCNNI) (18.07-23.07.2010). Barcelona, Spain, 2010, pp. 1515-1520.
13. Castaneda C.E., Loukianov A.G., Sanchez E.N., Bernardino C.-T. Discrete-Time Neural Sliding-Mode Block Control for a DC Motor With Controlled Flux. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2012, vol. 59, issue 2, pp. 1194-1207. doi: 10.1109/TIE.2011.2161246.
14. Hayek El.J., Sobczyk T.J., Skarpetowski G. Experiences with a traction drive laboratory model. *Electromotion*, 2010, vol. 17, issue 1, pp. 30-36.

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

Поступила в редколлегию: 12.09.2016

Принята к печати: 05.12.2016

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

УДК:625.143.472

О. М. ДАРЕНСЬКИЙ^{1*}, Ю. Л. ТУЛЕЙ², Д. О. ПОТАПОВ³, А. С. МАЛІШЕВСЬКА⁴

^{1*}Каф. «Колія та колійне господарство», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел./факс +38 (057) 730 10 58, ел. пошта prx_xiit@kart.edu.ua, ORCID 0000-0001-8871-5710

²Департамент колії Укрзалізниці, вул. Тверська, 5, Київ, Україна, 03680, тел. + 38 (044) 465 03 50, ел. пошта prx_xiit@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-0978-3713

³Каф. «Колія та колійне господарство», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел./факс +38 (057) 730 10 60, ел. пошта prx_xiit@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-7279-4271

⁴Каф. «Колія та колійне господарство», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел./факс +38 (057) 730 10 60, ел. пошта kttolik@yandex.ua, ORCID 0000-0002-4780-7691.

ЖОРСТКІСТЬ ПРИКРІПЛЮВАЧІВ ПРОМІЖНИХ СКРІПЛЕНЬ ДЕРЕВ'ЯНИХ ШПАЛ ПРИ ДІЇ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ПОПЕРЕЧНИХ СИЛ

Мета. Незважаючи на постійне збільшення протяжності ділянок із безстиковою колією на залізобетонних шпалах, дерев'яні шпали – це один із варіантів підрейкових опор, що експлуатуються на достатньо великій кількості напрямків, зокрема, залишаються безальтернативними в кривих радіусами до 350 м, а також у головних коліях метрополітенів. Основними видами прикріплювачів у найбільш розповсюджених типах проміжних рейкових скріплень для дерев'яних шпал є колійні костилі та шурупи. Оскільки існуючі в кривих ділянках колії особливості контактування системи «колесо-рейка» мають суттєвий вплив на процеси взаємодії залізничної колії та рухомого складу, в роботі необхідно визначити жорсткість колійних шурупів та костилів, які безпосередньо приймають участь у формуванні просторової жорсткості вузлів проміжних рейкових скріплень при дії горизонтальних поперечних сил. **Методика.** Дослідження жорсткостей прикріплювачів проводились експериментально для двох типів проміжних рейкових скріплень – ДО та «Метро». Для проведення експериментальних випробувань було обрано 10 дослідних ділянок на коліях регіональної філії «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця», та 8 – на головних коліях КП «Харківський метрополітен». Кожна з дослідних ділянок знаходилась у приблизно однакових експлуатаційних умовах, але мала різну величину пропущеного тоннажу. **Результати.** Отримані значення жорсткості колійних костилів та шурупів. **Наукова новизна.** Авторами вперше були отримані експериментальні дані щодо зміни жорсткостей прикріплювачів (колійних шурупів та костилів), залежно від терміну експлуатації для магістральних залізниць та колій метрополітенів. Це дає змогу виконувати розрахунки величини горизонтальних поперечних сил у кривих ділянках колії (зокрема в кривих із радіусами менше 350 м), а також прогнозно оцінювати зміну їх рівня в процесі експлуатації. **Практична значимість.** На основі отриманих експериментальних даних було встановлено, що зміна жорсткості колійних шурупів та костилів, залежно від терміну служби, носить нелінійний характер. Проведені дослідження дозволяють більш раціонально підходити до питання визначення оптимальної конструкції проміжних рейкових скріплень, виходячи з конкретних умов експлуатації, а також сприятимуть розробці заходів щодо підвищення надійності роботи вузлів проміжних рейкових скріплень для дерев'яних шпал.

Ключові слова: рейкова опора; проміжні рейкові скріплення; верхня будова колії; шпали; рейки; жорсткість; експериментальні дослідження

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Вступ

Конструкція колії на дерев'яних шпалах буде застосовуватись на магістральних залізницях України ще досить тривалий час. Це зумовлено тим, що найбільш розповсюджена конструкція – безстикова колія на залізобетонних шпалах – має обмеження при застосуванні. Насамперед такі обмеження стосуються кривих ділянок колії з радіусом менш ніж 350 м. Відмінною рисою взаємодії колії та рухомого складу в кривих ділянках колії є виникнення значних горизонтальних поперечних сил.

Мета

Метою цього дослідження є експериментальне визначення жорсткостей прикріплювачів – костилів або шурупів при дії горизонтальних поперечних сил на підкладки проміжних скріплень для дерев'яних шпал та встановлення залежностей змін цих параметрів під час експлуатації колії.

Методика

Для виконання досліджень взаємодії колії та рухомого складу в кривих малих радіусів слід використовувати переважно числові методи досліджень, оскільки саме такі методи дають можливість, на відміну від експериментальних досліджень в колії, отримувати результати при точно відомих вихідних даних.

В роботах [2–4] розглянуто роботу п'яти типів скріплень для дерев'яних шпал, які застосовуються на магістральних залізницях, та скріплення типу «Метро». Отримані математичні залежності, які описують роботи цих скріплень під дією вертикальних та горизонтальних поперечних сил.

Числові дослідження взаємодії колії та рухомого складу для умов магістральних залізниць здійснюються в основному з використанням плоских розрахункових схем [5, 6]. При цьому колія розглядається у вигляді балки, що спирається на суцільну пружну основу. Основні недоліки такої розрахункової схеми були висвітлені раніше в роботах [7–10].

В роботах [1, 5, 6] жорсткості колії в точці контакту «колесо-рейки» у вертикальному та горизонтальному поперечному напрямку приймати постійними на основі досліджень

[11–13]. Але результати аналізу, зробленому в роботах [2–4], свідчить, що на величину горизонтальної поперечної жорсткості рейкових опор суттєво впливає рівень вертикального навантаження.

Математичні моделі динамічних систем «екіпаж-колія» повинні включати в себе, зокрема, моделі формування просторових жорсткостей підрейкової основи, наприклад, просторових жорсткостей вузлів проміжних рейкових скріплень.

Як правило, пружні лінійні і кутові переміщення рейки на опорі складаються з переміщень за рахунок деформацій пружних елементів у вузлі проміжного скріплення і пружних переміщень шпал в баласті.

Для визначення горизонтальної поперечної жорсткості одного з основних проміжних рейкових скріплень для дерев'яних шпал типу ДО в роботі запропоновано розрахункову схему, яка наведена на рис. 1. Ця схема застосовується за таких умов: дія горизонтальної поперечної сили $C_{y\sigma}$ викликає тільки горизонтальне переміщення рейки без її кручення; між підшовою рейки, підкладкою і костиллями зазори відсутні.

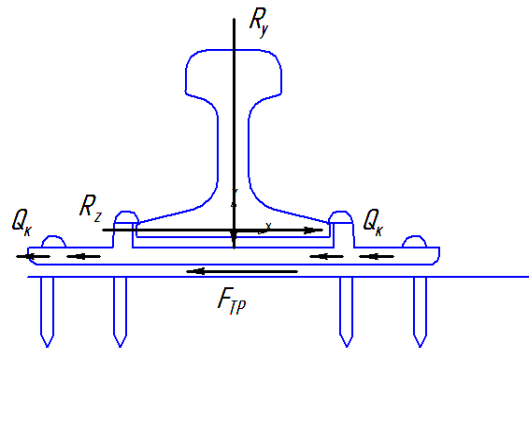


Рис. 1. Розрахункова схема вузла скріплення типу ДО

Fig. 1. Diagram of DO-type fastening node

Умова рівноваги у вузлі скріплення має вигляд:

$$R_z = F_{тр} + m Q_k,$$

де $F_{тр}$ – сила тертя підкладки по шпалі; Q_k – опір одного костилля поперечному віджиманню; m – кількість основних і обшивочних костилів у вузлі скріплення.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

До подолання сили тертя F_{mp} , горизонтальних поперечних деформацій у вузлі скріплення не відбувається.

Тоді умови прояву і формування горизонтальної поперечної жорсткості скріплення ДО можна подати наступними виразами:

$$\left. \begin{array}{l} \text{— при } R_z < f_{\text{под}} \cdot R_y \\ C_z = \infty; \\ \text{— при } R_z \geq f_{\text{под}} \cdot R_y \\ C_z = m \cdot C_k \end{array} \right\} \quad (1)$$

де R_y і R_z – діючі на вузол скріплення вертикальна і горизонтальна поперечні сили, кН; $f_{\text{под}}$ – коефіцієнт тертя підкладки по шпалі; C_k – жорсткість костилів при його поперечному віджиманні, кН/м.

На коліях метрополітенів застосовується проміжні рейкові скріплення типу «Метро» (рис. 1), та дерев'яні шпали, які закладені у монолітний бетон. Специфіка конструкції скріплення типу «Метро» в тому, що воно не створює опір рейкам при їх кутових переміщеннях (крученні), тому жорсткість опори при крученні рейки у цьому випадку буде дорівнювати нулю.

Крім того, горизонтальні поперечні переміщення дерев'яних шпал, які омонолічені у бетоні не можливі, тому горизонтальна поперечна жорсткість опори для колій метрополітену складається виключно з горизонтальної поперечної жорсткості скріплення.

Розрахункова схема для визначення горизонтальної поперечної жорсткості системи «підкладка – колійні шурупи» наведена на рис. 2.

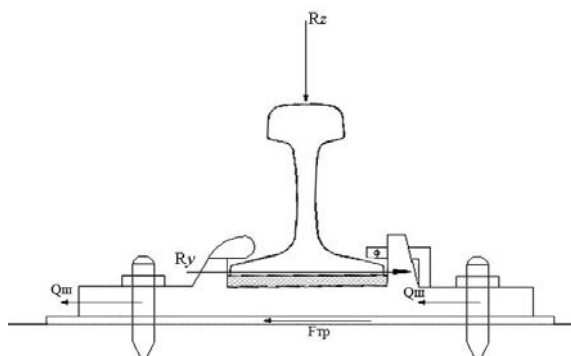


Рис. 2. Розрахункова схема вузла скріплення типу «Метро»

Fig. 2. Diagram of «Metro» -type fastening node

Ця схема застосована за таких умов: горизонтальна сила R_y викликає тільки горизонтальне переміщення рейки без її кручення; між підшвою рейки, підкладкою і шурупами зазори відсутні.

Умова рівноваги у вузлі скріплення буде мати вигляд

$$R_y = F_{mp} + m \cdot Q_{ш},$$

де F_{mp} – сила тертя підкладки по шпалі; $Q_{ш}$ – опір одного шурупа поперечному віджиманню; m – кількість шурупів у вузлі скріплення ($m = 4$).

До подолання сили тертя F_{mp} горизонтальних поперечних деформацій у системі «підкладка – колійні шурупи» не відбувається.

Тоді умови прояву і формування горизонтальної поперечної жорсткості виражаються виразами

$$\left. \begin{array}{l} \text{— при } R_y < f_{\text{под}} \cdot R_z \\ C_{y1} = \infty; \\ \text{— при } R_y \geq f_{\text{под}} \cdot R_z \\ C_{y1} = m \cdot C_{ш} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

де $C_{ш}$ – жорсткість шурупа при віджиманні, Н/м.

Для визначення жорсткості костилів при їх поперечному віджиманні, узгодження роботи яких визначає жорсткість скріплення ДО при горизонтальних поперечних вигинах рейки, був використаний пристрій, загальний вигляд якого наведений на рис. 3.

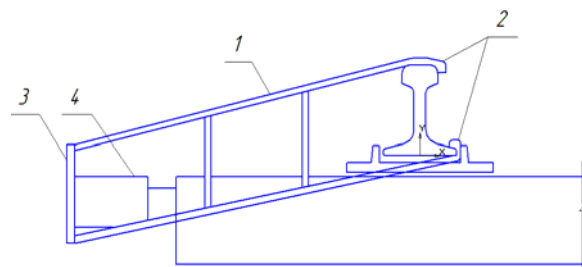


Рис. 3. Прилад для визначення поперечних переміщень елементів скріплення ДО відносно шпали:

1 – рамка; 2 – захоплювачі; 3 – пластина; 4 – домкрат

Fig. 3. The device for determining the transverse displacement of DO fastening elements relative to the sleeper:

1 – frame; 2 – grippers; 3 – plate; 4 – jack

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Пристрій складається з рамки, має спеціальні відгини, за допомогою яких захоплюється головка і підшва рейки з боку осі колії. Навантаження на торець шпали задавалося гідравлічним домкратом ДГ-5, шток якого упирився в торець шпали, а основа – в приварену до рамки пластину. Значення навантаження фіксувалися по манометру, вмонтованому в циліндр домкрата. Переміщення шпали щодо підшви рейки визначалися індикатором ІЧ-10.

Перед початком дослідження костилі добувалися, баласт у торця шпали відкопувався на глибину 10 см. Для виключення впливу сил тертя шпали по баласту рейкову нитку вивішували на висоту 15–20 мм двома домкратами ДГП-8. Після цього на шпалу встановлювався пристрій, домкрат, індикатор переміщення і починалися випробування.

Навантаження на шпалу прикладалося східчасто по 5 кН до досягнення переміщень шпали рівних 0,6 мм, що є реальними переміщеннями підшви рейки в колії при русі в кривій радіусом 350 м. Достатнім виявлявся рівень навантажень, як правило, 38–40 кН для нових шпал і 20–25 кН для старопридатних.

Випробування були виконані на восьми ділянках, експлуатаційні характеристики яких наведені в табл. 1. На кожній ділянці було випробувано не менше ніж 25 шпал.

Для визначення жорсткості шурупів були виконані випробування за допомогою пристрою, загальний вигляд якого наведений на рис. 4. Пристрій складається з гідравлічного домкрата з зусиллям 20 кН, шток якого упирився у реборду підкладки, а основа домкрата передавала зусилля на зразковий статичний динамометр ДОСМ-5. Динамометр, в свою чергу, передавав зусилля на опору, який опирався у підшву рейки з протилежного боку колії. Переміщення підкладки щодо шпали визначалися індикатором ІЧ-10.

Перед початком дослідження за допомогою динамометричного ключа контролювався рівень натягнення шурупів скріплення або добування костилів.

Для ліквідації люфтів і зазорів підкладку попередньо навантажували силою, яка дорівнювала 6,5 кН з подальшим повним розвантаженням. Після цього починалось випробування.

Таблиця 1

Характеристики дослідних ділянок для визначення параметрів вертикальної жорсткості колійних костилів при віджиманні

Table 1

Characteristics of test sites to determine the parameters of vertical rigidity of track spikes when displaced

№ ділянки	Величина вантажонапруженості	Встановлена швидкість руху	Радіус кривої ділянки	Термін служби колії (років)
1	20	65	400	7,5
2	9	60	330	2,5
3	15	65	344	5,9
4	18	70	320	6,8
5	17	70	300	3,8
6	22	70	310	0,8
7	14	60	365	8,3
8	5,5	75	340	9,1

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

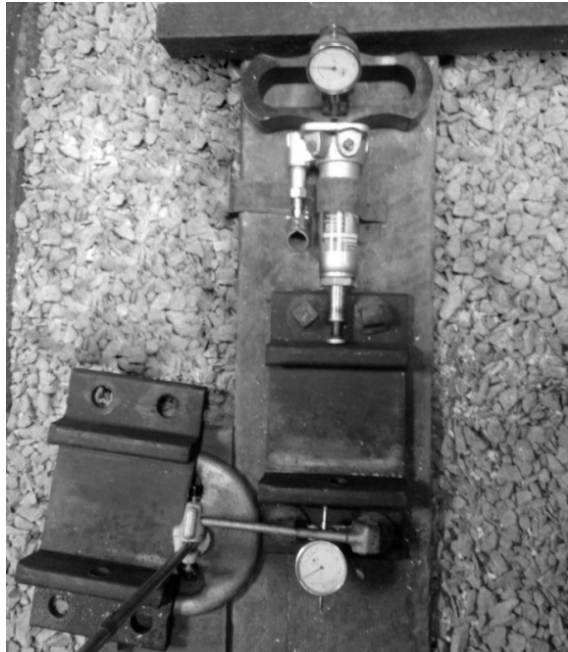


Рис. 4. Пристрій для визначення жорсткості шурупів при їх віджиманні

Fig. 4. The device for determining the screw rigidity during displacement

Навантаження, на підкладку прикладалося східчасто з кроком 3,5 кН до досягнення переміщень, які складали 0,2 мм, що відповідає реальним переміщенням підкладки в колії при русі в кривій $R = 300$ м. Випробування були виконані на 10 ділянках колії регіональної філії «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» та на 8 ділянках КП «Харківський метрополітен», які відрізнялись термінами експлуатації. На кожній ділянці було випробувано не менше ніж 10 шпал.

Вплив експлуатаційних чинників в колії на величини жорсткості шурупів при горизонтальному навантаженні оцінювався коефіцієнтом кореляції.

Результати

В процесі експлуатації жорсткість костилів та шурупів зменшується, залежності цих величин від термінів служби нелінійні (рис. 5, 6).

Експериментальні дані були апроксимовані показовим рівнянням:

$$C = R/\Delta, \quad (3)$$

де t – термін експлуатації колії (роки).

Середня помилка апроксимації для рівняння (3) складає 7,8 %.

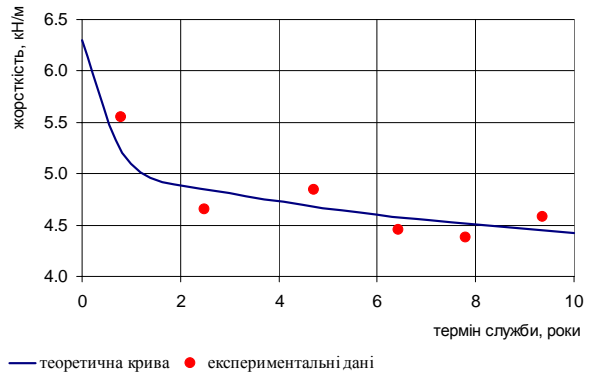


Рис. 5. Графік залежності жорсткості колійних костилів від терміну експлуатації колії

Fig. 5. Graph of dependency of track spike rigidity on the track life

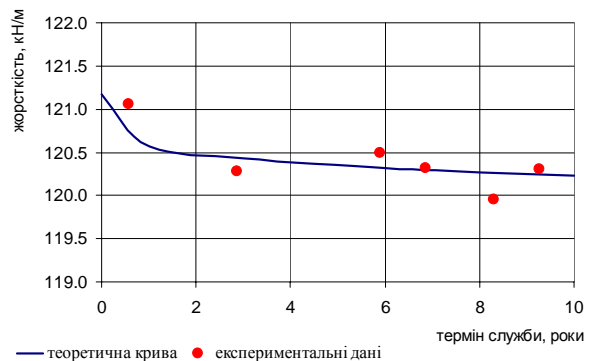


Рис. 6. Графік залежності жорсткості колійних шурупів від терміну експлуатації колії

Fig. 3. Graph of dependency of track screw rigidity on the track life

Експериментальні дані були апроксимовані показовим рівнянням:

$$C_{ш} = 121,17 \cdot 10^3 - 0,604 \cdot 10^3 t^{0,191}, \quad (4)$$

де t – термін експлуатації колії (роки).

Середня похибка апроксимації для рівняння (4) складає 8,7 %.

Вплив інших експлуатаційних чинників на жорсткість шурупів, в тому числі момент натягу, виявити не вдалося. Дослідження показали, що момент натягу шурупів впливав тільки на величину початкової сили, при якій починалось вибірка люфтів і зазорів.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Наукова новизна та практична значимість

В роботі на основі даних експериментальних робіт були отримані значення жорсткості прикріплювачів для проміжних скріплень для дерев'яних шпал – костилів та шурупів.

Вперше на відміну від інших робіт були отримані зазначені параметри не тільки у фіксованому часі, а і залежно від часу експлуатації колії. Така інформація дає можливість виконувати розрахунки горизонтальних поперечних сил в кривих малих радіусів (менше ніж 350 м), оцінювати зміни цих сил під час експлуатації. Слід зазначити, що на сьогодні в таких кривих укладаються тільки дерев'яні шпали.

Отримана інформація дозволяє визначати оптимальні конструкції проміжних скріплень для таких умов з точки зору динаміки взаємодії колії та рухомого складу.

Висновки

Отримані емпіричні залежності жорсткості костилів та шурупів проміжних скріплень для дерев'яних шпал при дії горизонтальних поперечних сил від термінів експлуатації колії. Ці дані є складовими вихідних параметрів для виконання числових досліджень взаємодії колії та рухомого складу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Велінець, В. П. Експериментальні дослідження горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток при різних конструкціях рейкових скріплень / В. П. Велінець // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 6 (60). – С. 57–64. doi: 10.15802/stp2015/57018.
2. Вериги, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериги, А. Я. Коган. – Москва : Транспорт, 1986. – 599 с.
3. Вериги, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьбе с боковым износом рельсов и гребней колес / М. Ф. Вериги. – Москва : ПТКБ ЦП МПС, 1997. – 207 с.
4. Даренський, О. М. Аналіз розвитку теорій розрахунків залізничних колій / О. М. Даренський, Е. А. Беліков // 36. наук. пр. УкрДУЗТ. – 2015. – № 154. – С. 149–155.
5. Исследования упруго-динамических характеристик пути в горизонтальной плоскости / В. Ф. Яковлев, И. И. Семенов, А. И. Фролов, В. И. Полетаев // Тр. ЛИИЖТ. – 1977. – № 280. – С. 82–99.
6. Кравченко, Н. Д. Условия работы рельсовых нитей при воздействии боковой нагрузки / Н. Д. Кравченко ; Всесоюз. науч.-исслед. ин-т ж.-д. трансп. – Москва : Транспорт, 1977. – 38 с. – (Достижения науки и техники – в производство).
7. Лысюк, В. С. Вероятностные исследования жесткости пути / В. С. Лысюк / Вестн. ВНИИЖТа. – 1981. – № 6. – С. 53–56.
8. Малішевська, А. С. Формування просторової жорсткості рейкових опор метрополітену / А. С. Малішевська, Д. А. Фаст // Мир науки и инноваций. – Т. 1, Вып. 2 (2) – 2015. – С. 48–55.
9. Тулей, Ю. Л. Аналіз просторової жорсткості скріплень ДО / Ю. Л. Тулей // 36. наук. пр. УкрДУЗТ. – 2015. – № 157. – С. 82–85.
10. Тулей, Ю. Л. Аналіз формування жорсткостей скріплень типів Д-2, Д-4, КППД-2 та СКД-65Д / Ю. Л. Тулей // 36. наук. пр. УкрДУЗТ. – 2016. – № 159. – С. 109–118.
11. Bogacz, R. Influence of sleepers shape and configuration on track-train dynamics / R. Bogacz, W. Czyczula, R. Konowrocki // Shock and Vibration. – 2014. – Vol. 2014. – P. 1–7. doi: 10.1155/2014/393867.
12. Bogacz, R. On new effects of wheel-rail interaction / R. Bogacz, R. Konowrocki // Archive of Applied Mechanics. – 2012. – Vol. 82. – Iss. 10–11. – P. 1313–1323. doi: 10.1007/s00419-012-0677-6.
13. Frangopol, D. M. Life-cycle performance, management, and optimization of structural systems under uncertainty: accomplishments and challenges / D. M. Frangopol // Structure and infrastructure engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance. – 2011. – Vol. 7. – Iss. 6. – P. 389–413. doi: 10.1080/15732471003594427.

А. Н. ДАРЕНСКИЙ^{1*}, Ю. Л. ТУЛЕЙ², Д. А. ПОТАПОВ³, А. С. МАЛИШЕВСКАЯ⁴^{1*}Каф. «Путь и путевое хозяйство», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел./факс +38 (057) 730 10 58, эл. почта prx_xiit@kart.edu.ua, ORCID 0000-0001-8871-5710²Департамент пути Укрзализныци, ул. Тверская, 5, Киев, Украина, 03680, тел. + 38 (044) 465 03 50, эл. почта prx_xiit@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-0978-3713³Каф. «Путь и путевое хозяйство», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел./факс +38 (057) 730 10 60, эл. почта prx_xiit@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-7279-4271⁴Каф. «Путь и путевое хозяйство», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел./факс +38 (057) 730 10 60, эл. почта ktolik@yandex.ua, ORCID 0000-0002-4780-7691.

ЖЕСТКОСТЬ ПРИКРЕПИТЕЛЕЙ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СКРЕПЛЕНИЙ ДЛЯ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ ПРИ ДЕЙСТВИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ

Цель. Несмотря на постоянное увеличение протяженности участков с бесстыковым путем на железобетонных шпалах, деревянные шпалы – это один из вариантов подрельсовых опор, которые эксплуатируются на достаточно большом количестве направлений, в частности, остаются безальтернативными в кривых радиусами до 350 м, а также в главных путях метрополитенов. Основными видами крепежителей в наиболее распространенных типах промежуточных рельсовых скреплениях для деревянных шпал являются путевые костыли и шурупы. Поскольку существующие в кривых участках пути особенности контакта системы «колесо-рельс» имеют существенное влияние на процессы взаимодействия железнодорожного пути и подвижного состава, в работе необходимо определить жесткость путевых шурупов и костылей, которые непосредственно участвуют в формировании пространственной жесткости узлов промежуточных рельсовых скреплений при воздействии горизонтальных поперечных сил. **Методика.** Исследование жесткости крепежителей проводилось экспериментально для двух типов промежуточных рельсовых скреплений – Д0 и «Метро». Для проведения экспериментальных испытаний было выбрано 10 опытных участков на путях регионального филиала «Южная железная дорога» ОАО «Укрзализныця», и 8 – на главных путях КП «Харьковский метрополитен». Каждый из опытных участков находился в примерно одинаковых эксплуатационных условиях, но имел разную величину пропущенного тоннажа. **Результаты.** Получены значения жесткости путевых костылей и шурупов. **Научная новизна.** Авторами впервые были получены экспериментальные данные по изменению жесткостей крепежителей (путевых шурупов и костылей) в зависимости от срока эксплуатации для магистральных железных дорог и путей метрополитенов. Это позволяет выполнять расчеты величины горизонтальных поперечных сил в кривых участках пути (в частности в кривых с радиусами менее 350 м), а также прогнозно оценивать изменение их уровня в процессе эксплуатации. **Практическая значимость.** На основе полученных экспериментальных данных было установлено, что изменение жесткости путевых шурупов и костылей, в зависимости от срока службы, носит нелинейный характер. Проведенные исследования позволяют более рационально подходить к вопросу определения оптимальной конструкции промежуточных рельсовых скреплений, исходя из конкретных условий эксплуатации, а также могут способствовать разработке мероприятий по повышению надежности работы узлов промежуточных рельсовых скреплений для деревянных шпал.

Ключевые слова: рельсовая опора; промежуточные рельсовые скрепления; верхнее строение пути; шпалы; рельс; жесткость; экспериментальные исследования

O. M. DARENSKIY^{1*}, YU. L. TULEY², D. O. POTAPOV³, A. S. MALISHEVSKAYA⁴^{1*}Dep. «Track and Track Facilities», Ukrainian State University of Railway Transport, Feierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel./fax +38 (057) 730 10 58, e-mail ppx_xiit@kart.edu.ua, ORCID 0000-0001-8871-5710²Track Department, Ukrzaliznytsia, Tverska St., 5, Kyiv, Ukraine, 03680, tel. + 38 (044) 465 03 50, e-mail ppx_xiit@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-0978-3713³Dep. «Track and Track Facilities», Ukrainian State University of Railway Transport, Feierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel./fax +38 (057) 730 10 60, e-mail ppx_xiit@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-7279-4271⁴Dep «Track and Track Facilities», Ukrainian State University of railway transport, Feierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel./fax +38 (057) 730 10 60, e-mail kttolik@yandex.ua, ORCID 0000-0002-4780-7691

RIGIDITY OF INTERMEDIATE FASTENING SCREWS AND SPIKES FOR WOODEN SLEEPERS UNDER THE ACTION OF HORIZONTAL LATERAL FORCES

Purpose. Despite the steady increase in the length of sections of continuous welded rail on concrete sleepers, wooden railway sleepers, as one of the options of under-rail bearings, are still operated on a sufficiently large number of areas, in particular, remain uncontested in the curve of up to 350m radius, as well as on the main ways of subways. The main types of fasteners in the most common types of intermediate rail fastenings for wooden sleepers are track screws and spikes. Since the «wheel-rail» system contact peculiarities existing in track curved sections have a significant impact on the processes of interaction between the railway track and rolling stock, it is necessary in this work to determine the rigidity of the track screws and spikes, which are directly involved in the formation of spatial rigidity of the intermediate rail fastening nodes under the influence of horizontal transverse forces.

Methodology. The study of the track screw and spike rigidity was conducted experimentally for the two types of intermediate rail fastenings – D0 and «Metro». To carry out experimental tests, 10 test sites were selected on the roads of the regional branch of «Southern Railway» of «Ukrzaliznytsia», and 8 – in the main routes of KP «Kharkiv Metro». Each of the test sites was in approximately the same operating conditions, but had different values of passed tonnage.

Findings. The values of the track screw and spike rigidity were obtained. **Originality.** The authors first obtained the experimental data on variation in rigidity of track screw and spike, depending on the useful life for the main railways and subway routes. This allows calculation of the horizontal shear forces in track curved sections (particularly in curves of up to 350 m radius), as well as the forecast evaluation of their level change during operation. **Practical value.** Based on the experimental data, it was found that variation in rigidity of track screw and spike depending on the lifetime is nonlinear. These experiments allow a more rational approach to the issue of determining the optimal design of the intermediate rail fasteners, based on the specific operating conditions, and may also contribute to the development of measures to improve the reliability of the components of intermediate rail fastenings for wooden sleepers.

Keywords: support rail; intermediate rail fasteners; track structure; railway sleepers; rail stiffness; experimental research

REFERENCES

1. Velinets V.P. Eksperymentalni doslidzhennia horyzontalnoi poperechnoi zhorstkosti reikovykh nytok pry riznykh konstruktsiiakh reikovykh skriplen [Experimental investigations of horizontal lateral stiffness of rails under different designs of rail fasteners]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 6 (60), pp. 57-64. doi: 10.15802/stp2015/57018.
2. Verigo M.F., Kogan A.Ya. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava* [The interaction between the track and rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1986. 558 p.
3. Verigo M.F. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava v krivyykh malogo radiusa i borbe s bokovym iznosom relsov i grebney koles* [The interaction of the track and rolling stock in horseshoe curves and control of horizontal wear and wheel flanges]. Moscow, PTKB TSP MPS Publ., 1997. 207 p.
4. Darenskiy O.M., Belikov E.A. Analiz rozvytku teorii rozrakhunkiv zaliznychnykh kolii [The theory development analysis of railways calculations]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Proc. of Ukrainian State University of Railway Transport], 2015, no. 154, pp. 149-155.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

5. Yakovlev V.F., Semenov I.I., Frolov A.I., Poletayev V.I. Issledovaniya uprugodinamicheskikh kharakteristik puti v gorizontальной ploskosti [Research of elastic and dynamic characteristics of the track in the horizontal plane]. *Trudy Leningradskogo instituta inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University], 1977, no. 280, pp. 82-99.
6. Kravchenko N.D. Usloviya raboty relsovykh nitey pri vozdeystvii bokovoy nagruzki [Working conditions of rails under the action of lateral load]. *VNIIZhT, seriya «Dostizheniya nauki i tekhniki – v proizvodstvo»* [All-Union SRIRT, Series «Advances in Science and Technology – into Production»]. Moscow, Transport Publ., 1977. 38 p.
7. Lysyuk V.S. Veroyatnostnyye issledovaniya zhestkosti puti [Probabilistic studies of track stiffness]. *Vestnik VNIIZhTa – Vestnik of the Railway Research Institute*, 1981, no. 6, pp. 53-56.
8. Malishevskaya A.S., Fast D.A. Formuvannya prostоровoi zhorstkosti reikovykh opor metropolitenu [Formation of spatial rigidity of metro rail supports]. *Mir nauki i innovatsiy – World of Science and Innovation*, 2015, vol. 1, issue 2 (2), 48–55.
9. Tuley Yu.L. Analiz prostоровoi zhorstkosti skriplen DO [Analysis of spatial rigidity of DO-type fastening node]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDUZT* [Proc. of Ukrainian State University of Railway Transport], 2015, no. 157, pp. 82-85.
10. Tuley Yu.L. Analiz formuvannya zhorstkosti skriplen typiv D-2, D-4, KPPD-2 ta SKD-65D [Analysis of stiffnesses formation of fastening node, types D-2, D-4, 2, KPPD and SKD-65D]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDUZT* [Proc. of Ukrainian State University of Railway Transport], 2016, no. 159, pp.109-118.
11. Bogacz R., Czyżula W., Konowrocki R. Influence of sleepers shape and configuration on track-train dynamics. *Shock and Vibration*, 2014, vol. 2014, p. 1–7. doi: 10.1155/2014/393867.
12. Bogacz R., Konowrocki R. On new effects of wheel-rail interaction. *Archive of Applied Mechanics*, 2012, vol. 82, issue 10–11, pp. 1313-1323. doi: 10.1007/s00419-012-0677-6.
13. Frangopol D.M. Life-cycle performance, management, and optimization of structural systems under uncertainty: accomplishments and challenges. *Structure and infrastructure engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance*, 2011, vol. 7, issue 6, pp. 389-413. doi: 10.1080/15732471003594427.

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна), д.т.н., проф. Д. А. Плугіним (Україна)

Надійшла до редколегії: 29.08.2016

Прийнята до друку: 30.11.2016

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

UDC [004.7-047.72]:656.2

V. M. PAKHOMOVA^{1*}

^{1*}Dep. «Electronic Computing Machines», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 89, e-mail viknik.p1988@mail.ru, ORCID 0000-0001-8346-0405

NETWORK TRAFFIC FORECASTING IN INFORMATION- TELECOMMUNICATION SYSTEM OF PRYDNIPROVSK RAILWAYS BASED ON NEURO-FUZZY NETWORK

Purpose. Continuous increase in network traffic in the information-telecommunication system (ITS) of Prydniprovsk Railways leads to the need to determine the real-time network congestion and to control the data flows. One of the possible solutions is a method of forecasting the volume of network traffic (inbound and outbound) using neural network technology that will prevent from server overload and improve the quality of services. **Methodology.** Analysis of current network traffic in ITS of Prydniprovsk Railways and preparation of sets: learning, test and validation ones was conducted as well as creation of neuro-fuzzy network (hybrid system) in Matlab program and organization of the following phases on the appropriate sets: learning, testing, forecast adequacy analysis. **Findings.** For the fragment (Dnipropetrovsk – Kyiv) in ITS of Prydniprovsk Railways we made a forecast (day ahead) for volume of network traffic based on the hybrid system created in Matlab program; MAPE values are as follows: 6.9% for volume of inbound traffic; 7.7% for volume of outbound traffic. It was found that the average learning error of the hybrid system decreases in case of increase in: the number of inputs (from 2 to 4); the number of terms (from 2 to 5) of the input variable; learning sample power (from 20 to 100). A significant impact on the average learning error of the hybrid system is caused by the number of terms of its input variable. It was determined that the lowest value of the average learning error is provided by 4-input hybrid system, it ensures more accurate learning of the neuro-fuzzy network by the hybrid method. **Originality.** The work resulted in the dependences for the average hybrid system error of the network traffic volume forecasting for the fragment (Dnipropetrovsk-Kyiv) in ITS Prydniprovsk Railways on: the number of its inputs, the number of input variable terms, the learning sample power for different learning methods. **Practical value.** Forecasting of network traffic volume in ITS of Prydniprovsk Railways will allow for real-time identification of the network congestion and control of data flows.

Keywords: forecasting; network traffic; volume; neuro-fuzzy network; hybrid system; term; membership function; set; adequacy; error

Introduction

To make a forecast of the network traffic parameters there are used various methods and techniques that are widely spread in the analysis of time series of economic indicators [9-10]. In general, if the set n of discrete values

$\{y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_n)\}$ at successive time points t_1, t_2, \dots, t_n , then the forecasting problem lies in forecasting the value $y(t_{n+1})$ at a future time point t_{n+1} . The forecast usually has an error, but this error depends on the used forecasting system. High efficiency of the forecast is achieved with the use

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

of neural networks [1, 11-13]. The forecasting problem can be solved based on the following neural networks: multilayer perceptron (MLP), radial basis function (RBF), generalized regression neural network (GRNN), Volterra networks, Elman networks and ANFIS-system, the overview of which is done in [7]. Fuzzy Neural Networks (hybrid systems) are designed to combine the advantages of neural networks and fuzzy inference. They allow you to develop and apply the models in the form of the rules of fuzzy production systems, for the building of which the neural network capabilities are used [5]. In particular, the adaptive network of fuzzy inference (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, ANFIS), which is implemented in the Fuzzy Logic Toolbox application of Matlab program [4]. The main stages of neuro-fuzzy network operation include: formation of the rule base of fuzzy inference system; phasing of input variables; aggregation; activation; accumulation; defuzzification of output variables, the functioning algorithm of such a system is provided in [6]. Specifically, [2] proposed a hybrid forecasting system (24 hours ahead) for the suburban passenger flow and [3] formed a hybrid model for forecasting the wagon loading volume for two previous days.

Purpose

To develop the method for forecasting the volume of network traffic (incoming and outgoing) through the use of neuro-fuzzy network (hybrid system) for the considered fragment (Dnipropetrovsk-Kyiv) in ITS of Prydniprovsk railway.

Problem statement

Continuous increase in network traffic volume in ITS of Prydniprovsk Railways requires its fore-

casting to prevent network congestion and improve service quality. One of the possible solutions can be the network traffic volume forecasting method that would avoid such an overload (including that of the server). The study used the real traffic data of the most important fragment (Dnipropetrovsk – Kyiv) in ITS of Prydniprovsk Railways for the period 21.03-26.03.2016. The analysis of inbound and outbound traffic in the direction of finding long-term dependency (hours, days) was conducted. For illustrative purposes we built the charts of network traffic volume for the analyzed ITS fragment. As an example, Figure 1 shows outbound traffic for fragment length of 24-hour time series on different days of the week.

Figure 1 shows the trend of behaviour of the network traffic volume for the week: it is about the same on Monday, Tuesday, Thursday and Friday; there are regular changes in a given period. So, in particular, the traffic volume is lower and more or less stable from 00:00 to 7:00, significant and unstable traffic from 8:00 to 17:00, and again the lower and relatively unchanged traffic from 18:00 to 23:00. On Wednesday the volume of network traffic is the highest, and on weekends the traffic volume is much lower than on weekdays. The figure shows that the volume of outbound traffic on Wednesday as compared to Monday, Tuesday, Thursday and Friday is about 1.3 times higher. To make a (day ahead) forecast of the network traffic volume we selected the interval from 8:00 to 17:00, where it has significant variations, but for weekdays (Monday, Tuesday, Thursday, Friday) when the nature of traffic is approximately the same. Thus it was decided to make a (day ahead) forecast of the traffic volume $x(t)$ based on the data of the previous three days: $x(t-1)$, $x(t-2)$, $x(t-3)$.

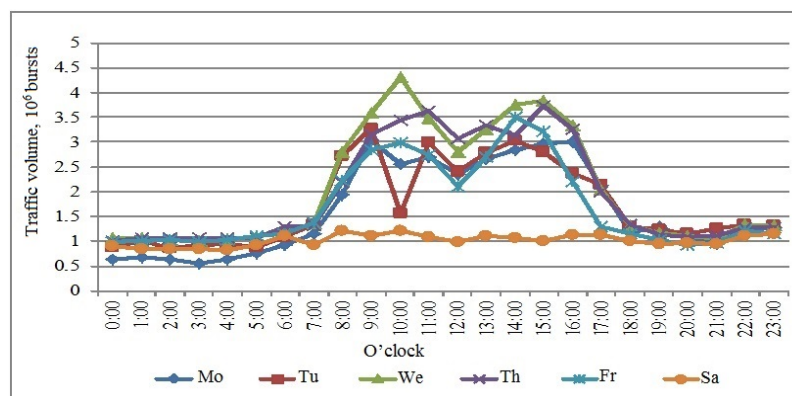


Fig. 1. Volume of outbound traffic in ITS (Dnipropetrovsk – Kyiv)

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Methodology

1 – Preparation of sets. To make a forecast it is necessary to prepare the following sets: learning, test, validation ones. The prepared set will affect the efficiency of learning and testing processes, as well as the ability of the network to solve the problems it faces during operation. To prepare the set we made a special array of 100 examples close to reality. To form the learning set the first 50 values of the created array were used while the other 50 values were used for the test set. To form a control set we used the real data of the fourth day, which is not considered.

2 – Creation of neuro-fuzzy network in Matlab. The task of forecasting the traffic (inbound, outbound) at the section Dnipropetrovsk-Kyiv is reduced to the problem of time series forecasting, usually for such problems there is selected Sugeno type system. For the purposes of linguistic assessment each input variable has two terms (maximum and minimum value), the membership function is chosen as Gaussian (gaussmf), for assessing the

resulting variable the set membership function is of linear type. In the knowledge-base editor the set fuzzy inference rules are as follows:

- if $x(t-1)=\text{min}$ and $x(t-2)=\text{min}$ and $x(t-3)=\text{min}$, then $x(t)=1$;
- if $x(t-1)=\text{min}$ and $x(t-2)=\text{min}$ and $x(t-3)=\text{max}$, then $x(t)=2$;
- if $x(t-1)=\text{min}$ and $x(t-2)=\text{max}$ and $x(t-3)=\text{min}$, then $x(t)=3$;
- if $x(t-1)=\text{min}$ and $x(t-2)=\text{max}$ and $x(t-3)=\text{max}$, then $x(t)=4$;
- if $x(t-1)=\text{max}$ and $x(t-2)=\text{min}$ and $x(t-3)=\text{min}$, then $x(t)=5$;
- if $x(t-1)=\text{max}$ and $x(t-2)=\text{min}$ and $x(t-3)=\text{max}$, then $x(t)=6$;
- if $x(t-1)=\text{max}$ and $x(t-2)=\text{max}$ and $x(t-3)=\text{min}$, then $x(t)=7$;
- if $x(t-1)=\text{max}$ and $x(t-2)=\text{max}$ and $x(t-3)=\text{max}$, then $x(t)=8$.

The structure of the designed fuzzy inference system is shown in Fig. 3.

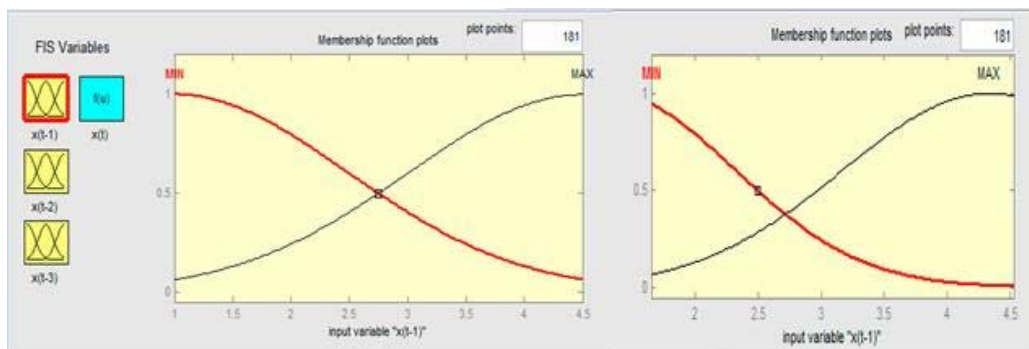


Fig. 2. Membership function of the first input variable before and after system learning

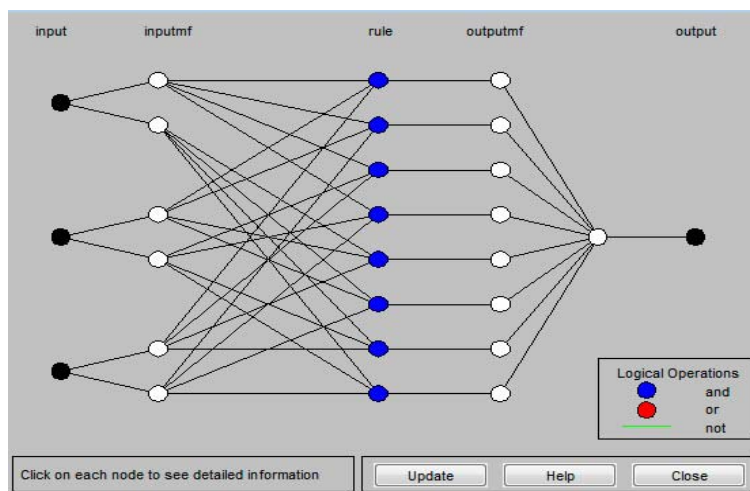


Fig. 3. Structure of the designed hybrid system

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

As shown in Fig. 3, the system has 5 layers. The first layer (input) – has three nodes ($x(t-3)$, $x(t-2)$, $x(t-1)$), where the input data are conveyed. The first layer performs dividing phasing of each variable, defining for each j -th rule of inference of the membership coefficient according to the applicable phasing function. The second layer (inputmf) consists of $3 \cdot 2 = 6$ nodes, because each input variable corresponds to 2 terms, performs aggregation of individual variables x_i , determining the resulting value of the membership coefficient for vector x (the activation level of inference rule); this layer is nonparametric. The third layer (rule) is TSK function generator; this is a parametric layer which involves adaptation of the linear weight determining the function of TSK model inference. The fourth layer (outputmf) consists of membership functions for each fuzzy inference rule (number of nodes of this layer corresponds to the number of rules $2^3 = 8$); this layer is nonparametric. The fifth layer (output) is normalizing, it has a single node, which corresponds to the output of the system; this layer is nonparametric.

3 – Learning of fuzzy neural network. When learning the hybrid method (hybrid) was selected as the method of optimization (optim. method), which combines the least-square method and the reduced reverse gradient method; the number of iterations of learning (epochs) is 40. As an example, the diagram of membership function of the first input variable before and after system learning is shown in Fig. 2.

4 – Testing of hybrid system. The hybrid system testing is conducted on the test set. Testing results

as compared to the system learning results are shown in Fig. 4.

5 – Analysis of hybrid system adequacy. To assess the quality and accuracy of the forecast of the created hybrid system we calculated MAPE (Mean Absolute Percentage Error) by the formula:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{|Z(t) - Z_1(t)|}{Z(t)} \cdot 100\% \quad (1)$$

where $Z(t)$ – real data at time point t ; $Z_1(t)$ – predicted data at time point t ; N – number of hours.

Forecasting of the network traffic volume was conducted from 8:00 to 17:00 (total hours $N = 10$). MAPE values are: 6.9% for the forecast of inbound traffic volume, 7.7% for the forecast of outbound traffic volume. As an example the actual and predicted volume of outbound traffic in ITS of Dnieper Railways (Dnipropetrovsk-Kyiv) is shown in Fig. 5.

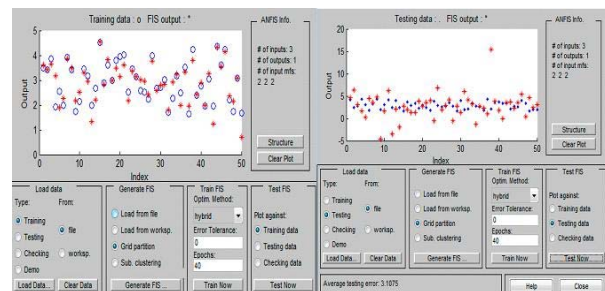


Fig. 4. Results of learning and testing of neuro-fuzzy network

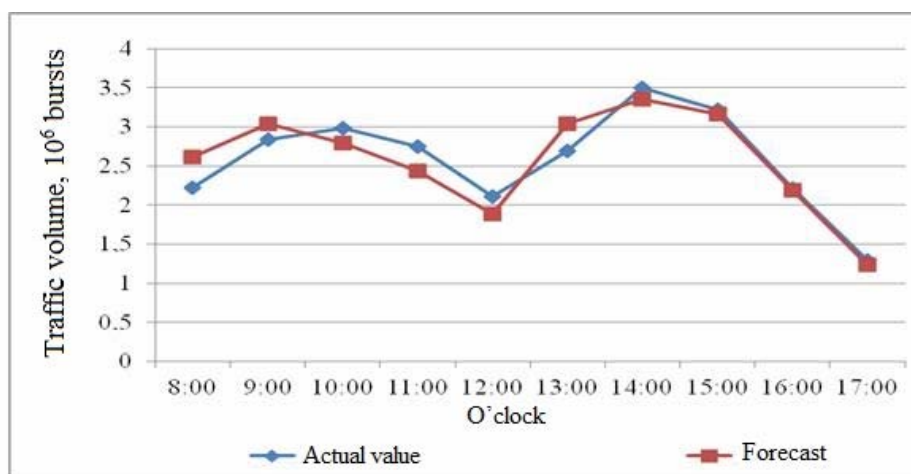


Fig. 5. Actual and predicted volumes of outbound traffic

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Findings

1 – *The study of dependence of the average error of the hybrid system learning on the number of its inputs.* The study involved the average error of the created hybrid system learning with different number of inputs: 2, 3, 4. In all the experiments, the length of the learning set was 50 examples, the number of epochs – 40, system learning was conducted by hybrid method. The obtained data resulted in the built diagrams of the dependence of the average error of the hybrid system learning on the number of its inputs for inbound (outbound) traffic in ITS of Prydniprovsk Railways for the considered fragment Dnipropetrovsk-Kyiv and are presented in Fig. 6.

The figure shows that lowest value of the average error of the hybrid system learning is:

$0.27 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 = 2.7 \cdot 10^2$ bursts for inbound traffic; for outbound traffic is provided by 4-input hybrid system at the learning set consisted of 50 examples.

2 – *The study of dependence of the average error of the hybrid system learning on the number of terms of its input variable.* The study was conducted on the created hybrid system, which has three input variables; in all the experiments the length of learning set consisted of 50 examples. Let us analyse the value of the average error of the hybrid system learning based on the number of terms of its input variable: 2, 3, 5.

The obtained values resulted in the built diagrams of the dependence of the average error of the hybrid system learning on the number of terms of its input variable by different learning methods that are presented in Fig. 7.

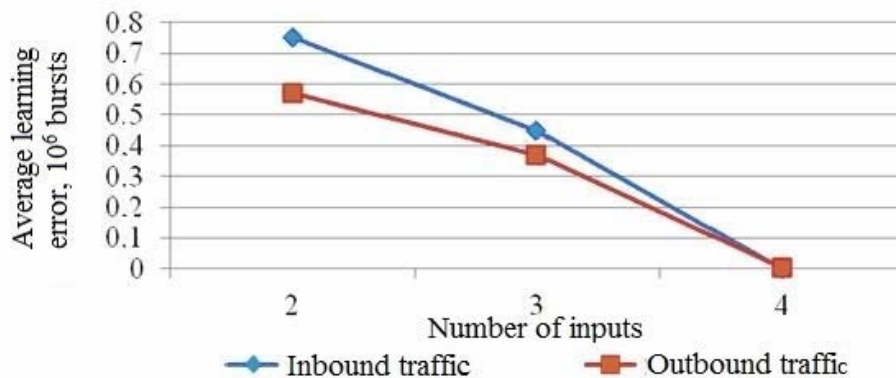


Fig. 6. Dependence of average error of the hybrid system learning on the number of its inputs

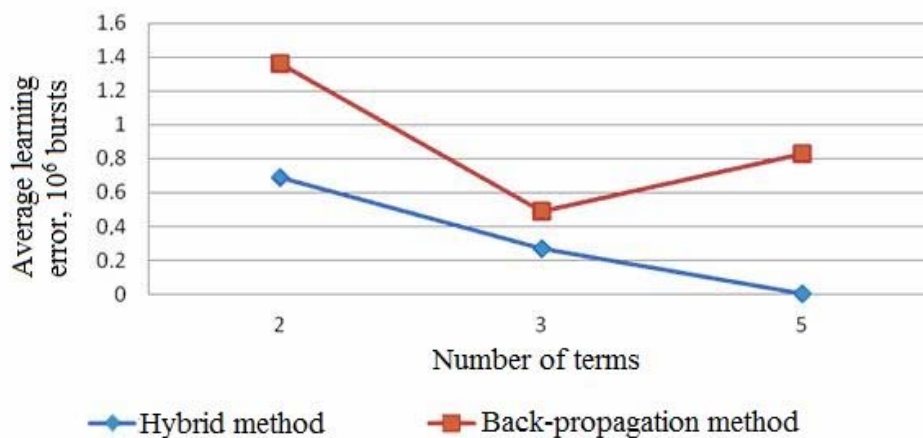


Fig. 7. Dependence of average error of the hybrid system learning on the number of terms of its input variable

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

The figure shows that when the number of terms increases (from 2 to 5), the average error of the hybrid system learning decreases: from $0.69 \cdot 10^6$ to $0.45 \cdot 10^{-5} \cdot 10^6 = 4.5$ bursts by the hybrid learning method; from $1.36 \cdot 10^6$ to $0.83 \cdot 10^6$ bursts by the back-propagation method. Thus, learning of the 3-input hybrid system (5 terms for each input variable) is more accurate by the hybrid method than by the back-propagation method.

3. *The study of dependence of the average error of the hybrid system learning on the learning set power.* For the study we took the learning set of different lengths: 20, 50, 100. The study was conducted on the hybrid system with three input variables; the learning cycle was 100 epochs. The obtained values resulted in the built diagrams of the dependence of the average error of the hybrid system learning on the learning set power according to the learning algorithms that are presented in Fig. 8.

The figure shows that when the learning set power increases (20 to 100 examples) onto 3-input hybrid system, its average learning error decreases: from $0.72 \cdot 10^6$ to $0.41 \cdot 10^6$ bursts by the hybrid learning method; from $2.28 \cdot 10^6$ to $1.07 \cdot 10^6$ bursts by the back-propagation method. Thus, learning of the hybrid system is more accurate by the hybrid method at learning set power of 100 examples.

Originality and practical value

The originality of the work includes the obtained dependences for the average hybrid system error of the network traffic volume forecasting for

the fragment (Dnipropetrovsk-Kyiv) in ITS of Prydniprovsk Railways on: the number of its inputs, the number of input variable terms, the learning set power for different learning methods. The practical value is that forecasting of network traffic volume in ITS of Prydniprovsk Railways will allow for real-time identification of the network congestion and control of data flows.

Conclusions

1. The work presents the conducted analysis of the volume of network traffic (inbound and outbound) in ITS of Prydniprovsk Railways (Dnipropetrovsk-Kyiv) based on the real data. For forecasting (day ahead) the volume of network traffic the interval from 8:00 to 17:00 o'clock was selected, where there are significant variations, but at that time of the week (Monday, Tuesday, Thursday, Friday) when the nature of traffic is approximately the same.

2. There were prepared the learning, test and validation sets based on actual data for the period 21.03.-26.03.2016. Forecast of the network traffic volume in ITS of Prydniprovsk Railways (Dnipropetrovsk-Kyiv) is made using a neuro-fuzzy network (hybrid system), which was designed in Matlab program. The hybrid system input is supplied with the network traffic volume for the past three days; forecasting of the network traffic volume was conducted from 8:00 to 17:00 (total hours $N = 10$); MAPE values are: 6.9% for inbound traffic; 7.7% for outbound traffic.

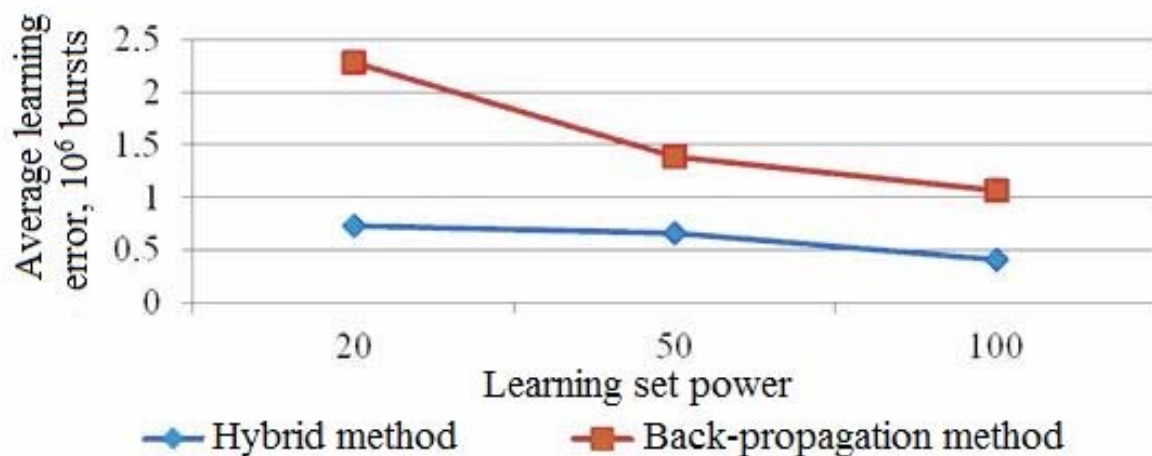


Fig. 8. Dependence of average error of the hybrid system learning on the learning set power

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

3. The experimental study was conducted over the dependence of the average error of the hybrid system learning on: the number of its inputs (first study), the number of input variable terms (second study), the learning set power (third study) by different learning methods: hybrid, back-propagation. Significant impact on the average error of the hybrid system learning has the number of input variable terms. In ITS of Prydniprovsk Railways (Dnipropetrovsk-Kyiv):

– The first study showed that the most accurate volume forecast of the inbound traffic (learning error $2.7 \cdot 10^2$) and outbound traffic (learning error $19 \cdot 10^2$) is achieved with 4-input hybrid system at the length of the learning set of 50 examples;

– The results of the second study showed that increase in the number of terms (from 2 to 5) of its input variable leads to decrease in the average learning error: from $0.69 \cdot 10^6$ to 4.5 bursts by the hybrid method; from $1.36 \cdot 10^6$ to $0.83 \cdot 10^6$ bursts by back-propagation method. Thus, learning of the 3-input hybrid system that has 5 terms for each input variable, is more accurate by the hybrid method;

– The results of the third study showed that increase in the learning set power (from 20 to 100 examples) onto 3-input hybrid system leads to decrease in the average learning error: from $0.72 \cdot 10^6$ to $0.41 \cdot 10^6$ bursts by the hybrid method; from $2.28 \cdot 10^6$ to $1.07 \cdot 10^6$ bursts by the back-propagation method. Thus, the learning is more accurate by the hybrid method at the learning set power of 100 examples.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Герасина, А. В. Адаптивное нечеткое прогнозирование трафика в информационных телекоммуникационных сетях / А. В. Герасина // Системы обработки информации : сб. науч. пр. / Харк. ун-т повітр. сил ім. Івана Кожедуба. – Харків, 2013. – Вип. 9 (116). – С. 141–145.
2. Константінов, Д. В. Формування адаптивної технології приміських залізничних перевезень : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Константінов Денис Володимирович ; Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2010. – 20 с.
3. Костенніков, О. М. Удосконалення технології формування місцевого вагонопотоку на дільниці в умовах сезонного коливання обсягів навантаження : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Костенніков Олексій Михайлович ; Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2012. – 20 с.
4. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MatLAB и fuzzy TECH / А. В. Леоненков. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
5. Манусов, В. З. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки на основе нечеткой нейронной сети и ее сравнение с другими методами / В. З. Манусов, Е. В. Бирюков. – Изв. Томск. политехн. ун-та. – 2006. – Т. 309, № 6. – С. 153–158.
6. Мещеряков, В. А. Моделирование адаптивной системы нейронечеткого управления рабочим процессом стрелового крана / В. А. Мещеряков, И. В. Денисов // Проектирование инженер. и науч. приложений в среде MatLAB : материалы V Междунар. науч. конф. – Харьков, 2011. – С. 367–375.
7. Пахомова, В. М. Розробка підсистеми оперативного прогнозування простотів прибуваючих поїздів на основі ANFIS-системи / В. М. Пахомова, С. Ю. Дмитрієв // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2013. – № 4. – С. 46–55.
8. Пахомова, В. М. Дослідження інжинірингу трафіка в комп'ютерній мережі УЗ за технологією MPLS TE / В. М. Пахомова // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 1 (55). – С. 139–147. doi: 10.15802/STP2015/38262.
9. Покровская, М. А. Метод прогнозирования изменения трафика с использованием нейросетевой модели / М. А. Покровская // Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – 2012. – № 6. – С. 27–30.
10. Сравнительный анализ методов прогнозирования трафика в телекоммуникационных системах [Electronic resource] / К. М. Руккас, Ю. В. Соляник, К. А. Овчинников, О. О. Давид // Проблемы телекоммуникаций. – 2014. – № 1 (13). – С. 84–95. – Available at: http://pt.journal.kh.ua/2014/1/1/141_rukkas_analys.pdf. – Title from the screen. – Accessed : 22.11.16.
11. Chabaa, S. Identification and prediction of internet traffic using artificial neural networks / S. Chabaa, A. Zeroual, J. Antari // J. of Intelligent Learning Systems and Applications. – 2010. – Vol. 02. – Iss. 03. – P. 147–155. doi: 10.4236/jilsa.2010.23018.
12. Gowrishankar, S. A time series modeling and prediction of wireless network traffic / S. Gowrishankar, P. S. Satyanarayana // Intern. J. of Interactive Mobile Technologies (IJIM). – 2009. – Vol. 3. – Iss. 1. – P. 53–62. doi: 10.3991/ijim.v3i1.284.
13. Multi-scale Internet traffic forecasting using neural networks and time series methods / P. Cortez,

M. Rio, M. Rocha, P. Sousa // Expert Systems. –
2010. – Vol. 29. – Iss. 2. – P. 143–155. doi:

10.1111/j.1468-0394.2010.00568.x.

В. М. ПАХОМОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Електронні обчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, ел. пошта viknik.p1988@mail.ru, ORCID 0000-0001-8346-0405

ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГУ МЕРЕЖЕВОГО ТРАФІКА В ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ НА ОСНОВІ НЕЙРОНЕЧІТКОЇ МЕРЕЖІ

Мета. Постійне збільшення обсягу мережного трафіка в інформаційно-телекомунікаційній системі (ІТС) Придніпровської залізниці призводить до необхідності визначення в реальному часі перевантаження в мережі та здійснення контролю потоків даних. Одним із можливих рішень є метод прогнозування обсягу мережного трафіка (вхідного та вихідного) з використанням нейромережної технології, що дозволить уникнути перевантаження сервера та підвищити якість послуг. **Методика.** В роботі виконані аналіз існуючого мережного трафіка в ІТС Придніпровської залізниці та підготовка вибірок: навчальної, тестової, контрольної, а також створення в програмі Matlab нейронечіткої мережі (гібридної системи) та організація на відповідних вибірках таких етапів: навчання, тестування, аналіз адекватності прогнозу. **Результати.** Для фрагмента (Дніпропетровськ – Київ) в ІТС Придніпровської залізниці здійснений прогноз (на добу вперед) обсягу мережного трафіка на основі гібридної системи, що створена в програмі Matlab; значення MAPE складає: 6,9 % для обсягу вхідного трафіка; 7,7 % для обсягу вихідного трафіка. Виявлено, що середня похибка навчання гібридної системи зменшується при збільшенні: кількості входів (від 2 до 4); кількості термів (від 2 до 5) вхідної змінної; потужності навчальної вибірки (від 20 до 100). Значний вплив на середню похибку навчання гібридної системи має кількість термів її вхідної змінної. Визначено, що найменше значення середньої похибки навчання надає чотири-вхідна гібридна система, більш точно здійснюється навчання нейронечіткої мережі за гібридним методом. **Наукова новизна.** Отримані залежності середньої похибки навчання гібридної системи прогнозування обсягу мережного трафіка фрагмента (Дніпропетровськ–Київ) в ІТС Придніпровської залізниці від: кількості її входів, кількості термів вхідної змінної, потужності навчальної вибірки за різними методами навчання. **Практична значимість.** Прогнозування обсягу мережного трафіка в ІТС Придніпровської залізниці дозволить в реальному часі визначити перевантаження в мережі та здійснити контроль потоків даних.

Ключові слова: прогнозування; мережний трафік; обсяг; нейронечітка мережа; гібридна система; терм; функція приналежності; вибірка; адекватність; похибка

В. Н. ПАХОМОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Электронные вычислительные машины», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, эл. почта viknik.p1988@mail.ru, ORCID 0000-0001-8346-0405

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМА СЕТЕВОГО ТРАФИКА В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПРИДНЕПРОВСКОЙ ДОРОГИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОНЕЧЕТКОЙ СЕТИ

Цель. Постоянное увеличение объема сетевого трафика в информационно-телекоммуникационной системе (ИТС) Приднепровской железной дороги приводит к необходимости определения в реальном времени перегрузки в сети и осуществления контроля потоков данных. Одним из возможных решений является ме-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

тод прогнозування об'єму мережевого трафіка (вхідного і вихідного) з використанням нейросетової технології, що дозволить уникнути перевантаження сервера і підвищить якість послуг. **Методика.** В роботі проведено аналіз існуючого мережевого трафіка в ІТС Придніпровської залізничної дороги і підготовка вибірок: навчальної, тестової, контрольної, а також створення в програмі Matlab нейронної мережі (гібридної системи) і організація на відповідних вибірках наступних етапів: навчання, тестування, аналіз адекватності прогнозу. **Результати.** Для фрагмента (Дніпропетровськ–Київ) в ІТС Придніпровської залізничної дороги здійснено прогноз (на тижень вперед) об'єму мережевого трафіка на основі гібридної системи, створеної в програмі Matlab; значення МАРЕ становить: 6,9 % для об'єму вхідного трафіка; 7,7 % для об'єму вихідного трафіка. Виявлено, що середня помилка навчання гібридної системи зменшується при збільшенні: кількості входів (від 2 до 4); кількості термів (від 2 до 5) вхідної змінної; потужності навчальної вибірки (від 20 до 100), велике вплив на середню помилку навчання гібридної системи надає кількість термів її вхідної змінної. Визначено, що найменше значення помилки навчання дає 4-вхідна гібридна система, більш точно здійснюється навчання нейронної мережі по гібридному методу. **Наукова новизна.** Отримано залежності середньої помилки навчання гібридної системи прогнозування об'єму мережевого трафіка фрагмента (Дніпропетровськ – Київ) в ІТС Придніпровської залізничної дороги від: кількості входів, кількості термів вхідної змінної, потужності навчальної вибірки при різних методах навчання. **Практичне значення.** Прогнозування об'єму мережевого трафіка в ІТС Придніпровської залізничної дороги дозволить в реальному часі визначити перевантаження в мережі і здійснити контроль потоків даних.

Ключові слова: прогнозування; мережевий трафік; об'єм; нейронна мережа; гібридна система; терм; функція приналежності; вибірка; адекватність; помилка

REFERENCES

1. Gerasina A.V. Adaptivnoye nechetkoye prognozirovaniye trafika v informatsionnykh telekommunikatsionnykh setyakh [Adaptive fuzzy prediction of traffic in information and telecommunication networks]. *Sistemy obrobky informatsii – Information Processing Systems*, 2013, issue 9 (116), pp. 141-145.
2. Konstantinov D.V. *Formuvannya adaptivnoi tekhnologii prymskykh zaliznychnykh perevezhen*. Avtoreferat Diss. [Formation of adaptive technology of commuter rail transportation. Author's abstract]. Kharkiv, 2010. 20 p.
3. Kostiennikov O.M. *Udoskonalennia tekhnologii formuvannya mistsevoho vahonopotoku na dilnytsi v umovakh sezonnoho kolyvannia obsiahiv navantazhennia*. Avtoreferat Diss. [Improving the technology of forming a local car traffic volume at the section in terms of seasonal fluctuations in load. Author's abstract]. Kharkiv, 2012. 20 p.
4. Leonenkov A.V. *Nechetkoye modelirovaniye v srede MatLAB i fuzzy TECH* [Fuzzy modeling in MatLAB and fuzzy TECH environment]. Saint-Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2003. 736 p.
5. Manusov V.Z., Biryukov Ye.V. Kratkosrochnoye prognozirovaniye elektricheskoy nagruzki na osnove nechetkoy neyronnoy seti i yeye sravneniye s drugimi metodami [Short-term forecasting of electric load based on fuzzy neural network and its comparison with other methods]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2006, vol. 309, no. 6, pp. 153-158.
6. Meshcheryakov V.A., Denisov I.V. Modelirovaniye adaptivnoy sistemy neyronnochetkogo upravleniya rabochim protsessom strelovogo krana [Adaptive system modeling of neuro-fuzzy control of operational process for jib crane]. *Materialy V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Proyektirovaniye inzhenernykh i nauchnykh prilozheniy v srede MatLAB»* [Proc. of Vth Intern. Sci. Conference «Design of Engineering and Scientific Applications in Matlab Environment»]. Kharkov, 2011, pp. 367-375.
7. Pakhomova V.M., Dmitriyev S.Yu. Rozrobka pidsystemy operativnoho prohozuvannia prostoiu prybuvaichykh poizdiv na osnovi ANFIS-systemy [Subsystem development of operational forecasting of inactive coming trains based on ANFIS-system]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti – Information and Control Systems at Railway Transport*, 2013, no. 4, pp. 46-55.
8. Pakhomova V.M. Doslidzhennia inzhynirynhu trafika v kompiuternii mrezi UZ za tekhnologiiu MPLS TE [Research of engineering traffic in computer of Ukrzaliznytsia network using MPLS TE technology]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 1 (55), pp. 139-147. doi: 10.15802/stp2015/38262.
9. Pokrovskaya M.A. Metod prognozirovaniya izmeneniya trafika s ispolzovaniyem neyrosetvoy modeli [Prediction method of traffic change with the use of neural network model]. *T-Comm – Telekommunikatsii i Transport – T-Comm – Telecommunications and Transport*, 2012, vol. 6, no. 6, pp. 27-30.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

10. Rukkas K.M., Solyanik Yu.V., Ovchinnikov K.A., David O.O. Sravnitelnyy analiz metodov prognozirovaniya trafika v telekommunikatsionnykh sistemakh (Comparative analysis of traffic prediction techniques in telecommunication systems). *Problemy telekommunikatsiy – Problems of Telecommunications*, 2014, no. 1 (13), pp. 84-95. Available at: http://pt.journal.kh.ua/2014/1/1/141_rukkas_analysis.pdf (Accessed 22 November 2016).
11. Chabaa S., Zeroual A., Antari J. Identification and prediction of internet traffic using artificial neural networks. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 2010, vol. 02, issue 03, pp. 147-155. doi: 10.4236/jilsa.2010.23018.
12. Gowrishankar S., Satyanarayana P.S. A time series modeling and prediction of wireless network traffic. *Intern. Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, 2009, vol. 3, issue 1, pp. 53-62. doi: 10.3991/ijim.v3i1.284.
13. Cortez P., Rio M., Rocha M., Sousa P. Multi-scale internet traffic forecasting using neural networks and time series methods. *Expert Systems*, 2010, vol. 29, no. 2, pp. 143-155. doi: 10.1111/j.1468-0394.2010.00568.x.

Prof. V. V. Tkachov, D. Sc. (Tech.) (Ukraine); Prof. V. V. Skalozub, D. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: Sep. 26, 2016

Received: Dec. 05, 2016

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 669.15

В. В. НЕТРЕБКО^{1*}, И. П. ВОЛЧОК²

^{1*}Каф. «Оборудование и технология сварочного производства», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69063, тел. +38 (050) 486 27 40, эл. почта olgavvn@ukr.net, ORCID 0000-0003-3283-0116

²Каф. «Композиционные и порошковые материалы и технологии», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69063, тел. +38 (061) 764 13 51, эл. почта tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0003-1580-0556

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧУГУНА НА МЕЖФАЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Mn

Цель. В научной работе предполагается рассмотреть получение зависимостей содержания марганца в металлической основе (Mn_o) и коэффициента его межфазного распределения (KP_{Mn}) от химического состава чугуна в системе Fe–C–Cr–Ni–Mn. **Методика.** Исследовали чугуны, содержащие 1,09...3,91 % C, 0,6...5,4 % Mn, 11,43...25,57 % Cr и 0,19...3,01 % Ni. Для построения математической модели распределения марганца использовали метод активного планирования эксперимента. Чугун выплавляли в индукционной печи с основной футеровкой емкостью 60 кг. **Результаты.** Марганец, являясь карбидообразующим элементом, распределялся между карбидами и металлической основой. При помощи методов математической статистики установлены регрессионные зависимости концентрации марганца в основе и коэффициента его межфазного распределения от содержания в чугуне C, Mn, Cr и Ni. Концентрация марганца в основе изменялась от 0,37 % при 1,09 % C, 0,6 % Mn, 11,43 % Cr и 3,01 % Ni до 5,79 % при 1,09 % C, 5,4 % Mn, 25,57 % Cr и 0,19 % Ni. Минимальное значение коэффициента межфазного распределения составило 0,16 в чугуне, содержащем 1,09 % C, 0,6 % Mn, 25,57 % Cr и 3,01 % Ni. При значениях коэффициента KP_{Mn} меньше 1, марганец преимущественно концентрировался в металлической основе. Максимальное значение коэффициента KP_{Mn} , составило 2,48 при 3,91 % C, 0,6 % Mn, 11,43 % Cr и 0,19 % Ni. Характер распределения марганца определялся количеством карбидов и соотношением хрома и углерода, определяющим тип карбида. Состав карбидов формировался в результате конкурирования карбидообразующих элементов. **Научная новизна.** Получены регрессионные зависимости содержания марганца в основе и коэффициента его межфазного распределения от химического состава чугуна в системе Fe–C–Cr–Ni–Mn. Установлена зависимость распределения марганца от процессов формирования карбидов. **Практическая значимость.** Полученные зависимости позволяют прогнозировать содержание марганца в металлической основе и могут быть использованы при разработке новых составов износостойких чугунов.

Ключевые слова: чугун; марганец; распределение; карбид; металлическая основа

Введение

Марганец является одним из основных легирующих элементов в высокохромистых чугунах. Его содержание в металлической основе определяет ее структуру и свойства. В количестве до 1,0 % марганец вводится как техноло-

гическая добавка при производстве сплавов. Более высокие концентрации марганца обеспечивают получение спектра закалочных структур от мартенсита до аустенита. Марганец образует собственные карбиды и входит в состав карбидов железа и хрома, что снижает его концентрацию в металлической основе и ока-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

зывает влияние на структуру и свойства чугуна [4, 12, 14].

Необходимость заданной концентрации марганца в металлической основе связана с его отрицательным влиянием на обрабатываемость чугуна [7] и положительным влиянием на износостойкость, особенно, при ударных нагрузках [11, 2].

Предельная растворимость марганца в α -фазе в системе Fe – Mn составляет около 3,5 % [5]. Марганец с γ -железом образует ряд непрерывных твердых растворов. Таким образом, он преимущественно концентрируется в высокоуглеродистых фазах (аустените и карбидах). По данным [4], соотношение количества марганца в карбидах к его содержанию в сплаве составляет 4:1, при этом повышение содержания марганца в сплаве не оказывает влияния на это соотношение. При увеличении содержания углерода количество марганца в карбидах снижается, что объясняется различной степенью обеднения металлической основы. Равновесное отношение марганца в карбидах к его содержанию в основе устанавливается после довольно продолжительной выдержки при высоких температурах. Следует отметить, что карбид Mn_3C стабилен при температурах свыше 900 °C. Карбид Fe_3C в системе Fe – C соответствует карбид Mn_7C_3 в системе Mn – C [8].

Межфазное распределение марганца в системе Fe – C – Mn в достаточной степени исследовано Г. И. Сильманом [8 – 10]. В работе [8] показано, что распределение марганца между карбидами и аустенитом, а также между аустенитом и ферритом зависит от его содержания и температуры. По мере увеличения содержания марганца в чугуне от 0,26 до 35,69 % коэффициент распределения марганца снижался с 2,5 до 1,18. Повышение температуры закалки до 1 100 °C понизило коэффициент распределения марганца до 1,01 при 35,69 % Mn. В работе так же отмечается, что при 1 140–1200 °C марганец стабилизирует карбид $(Fe,Mn)_7C_3$.

В работе [9] показано, что в условиях эвтектоидного равновесия в цементите растворяется до ~ 30 % Mn, а в карбиде Fe_7C_3 – до ~ 37,5 % Mn. Увеличение концентрации марганца свыше 25 % вызывает постепенное замещение легированного цементита вторичными карбидами Mn_7C_3 . Образование эвтектоидной смеси из феррита и этих карбидов наблюдается при со-

держании марганца свыше 3–5 %. Вследствие образования вторичных карбидов содержание марганца в эвтектоидном аустените снижается с 29,6 % при 1160 °C до 13,2 % при 570 °C.

По данным [10], в системе Fe – C – Mn для получения чугунов с высокой твердостью матрицы содержание марганца должно составлять 2–5 %.

Авторами [6] отмечается, что в системе Fe – C – Mn образуется карбид $(Fe,Mn)_3C$, в котором марганец растворяется в больших количествах, при этом растворимость марганца уменьшается с понижением температуры. В этой системе, при содержании марганца более 20 %, образуется карбидная фаза $(Mn,Fe)_{23}C_6$, представляющая собой карбид марганца, в котором растворено железо.

Легирование чугунов хромом, обладающим более высоким сродством к углероду, чем марганец, оказывает влияние на процессы карбидообразования и, как следствие, влияет на распределение марганца. Это связано с тем, что марганец и хром образуют изоморфные карбиды и возникает конкурирование этих элементов при формировании карбидной фазы.

Существенное влияние марганца на свойства высокохромистых чугунов проявляется в воздействии на процессы карбидообразования, формирования структуры металлической основы и, соответственно, на распределение хрома. В процессе охлаждения отливок, содержание хрома в карбидах повышается, что связано с замещением атомов марганца в карбидах атомами хрома [13].

И. И. Цыпиным [12] показано, что в чугунах, содержащих более 10 % Cr, распределение марганца зависит от отношения Cr/C, которое определяет тип карбида. В чугуне с 12 % Cr и 6 % Mn при 3 % C концентрация марганца в основе составляет 3,5 %, а при 2 % C – повышается до 6,5 %. В чугунах, содержащих до 1 % Mn, его концентрация в цементите в 1,5 раза выше, чем в аустените. При отношении Cr/C = 7 коэффициент распределения марганца приближается к единице. Исходя из этого, можно сделать вывод, что коэффициент распределения марганца в хромистых чугунах зависит от типа образующегося карбида хрома.

В нашей работе [3] показано, что повышение содержания хрома в чугуне уменьшает количество марганца в карбидах и, соответствен-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

но, снижает его коэффициент межфазного распределения. В этих работах показано, что в чугунах, содержащих 11–30 % Cr, при содержании марганца до 0,6 % он практически весь находился в металлической основе. При повышении содержания марганца до 4 % и более он равномерно распределялся между карбидами и основой. Термическая обработка хромистого чугуна снижала содержание марганца в карбидах. При этом, чем выше была температура термообработки, тем больше атомов марганца замещалось атомами хрома.

Таким образом, можно сделать вывод о том, межфазное распределение марганца в высокохромистых чугунах зависит от его количества, содержания углерода и хрома, а так же других элементов и факторов, оказывающих влияние на процессы карбидообразования.

Систематизированные данные о межфазном распределении Mn в многокомпонентной системе Fe – C – Cr – Ni – Mn ограничены. Поэтому для прогнозирования структуры и свойств чугунов этой системы необходимо знать содержание марганца в металлической основе и особенности его межфазного распределения.

Цель

Цель работы заключалась в получении регрессионных зависимостей содержания марганца в основе и коэффициента его межфазного распределения от химического состава чугуна в системе Fe – C – Cr – Ni – Mn.

Методика

Для построения математической модели распределения марганца в системе Fe – C – Mn – Cr – Ni использовали метод активного планирования эксперимента (табл.1).

Чугун выплавляли в индукционной печи с основной футеровкой емкостью 60 кг. Содержание кремния составляло 0,8–1,2 %, серы до 0,02 %, фосфора до 0,03 %. Температура жидкого чугуна составляла 1 390–1 410 °С. Опытные чугуны исследовали в литом состоянии без термической обработки. Для выявления структурных составляющих применяли травитель Марбле. Анализ структуры производился по известным методикам [1].

Химический состав металлической основы и карбидов определяли в локальных точках на микроскопе РЕМ 106И.

Коэффициент распределения марганца (KP_{Mn}) определяли как отношение содержания марганца в карбидах (Mn_k) к его содержанию в основе (Mn_o).

Таблица 1

Матрица планирования дробного факторного эксперимента 2^{4+1}

Table 1

Matrix of fractional factorial experiment planning 2^{4+1}

Уровни варьирования факторов		Факторы			
		C, %	Cr, %	Mn, %	Ni, %
Основной	0	2,5	18,5	3,0	1,6
Интервал	Δ	1,0	5,0	1,7	1,0
Звездное плечо	1,414	1,41	7,07	2,4	1,41
	Δ				
Верхние	+1	3,5	23,5	4,7	2,6
	+1,41	3,91	25,57	5,4	3,01
	4				
Нижние	–1	1,5	13,5	1,3	0,6
	–	1,09	11,43	0,6	0,19
	1,414				

Результаты

При первичной кристаллизации чугунов образовывались карбиды железа и хрома, легированные марганцем. Тип карбида и его состав зависел от концентрации карбидообразующих элементов и их конкурирования при его формировании, а также от изменения растворимости марганца в карбидах, в процессе остывания отливок.

Увеличение содержания марганца в чугуне практически не оказывало влияние на тип образующихся карбидов, но привело к изменению металлической основы от ферритной до аустенитной.

В результате математической обработки экспериментальных данных получены регрессионные зависимости содержания марганца в основе и коэффициента его межфазного распределения от содержания C, Mn, Cr и Ni в чугуне:

$$Mn_o = 0,72C + 0,697Mn + 0,145Cr - 0,058CMn - 0,039CCr - 0,022CNi + 0,007MnCr - 1,945;$$

$$KP_{Mn} = 6,711 - 1,383C - 0,383Mn - 0,148Cr -$$

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

$0,603\text{Ni} + 0,28\text{C}^2 + 0,004\text{Cr}^2 - 0,03\text{CCr} + 0,014\text{MnCr} + 0,088\text{MnNi} + 0,018\text{CrNi} - 0,134(\text{Cr/C})$.

Данніе уравнения являются математически вероятностными в соответствии с критериями Стьюдента, Фишера и Кохрена. Минимальные и максимальные значения функций представлены в табл. 2.

Анализ табл. 2 показывает, что максимальное содержание марганца в основе обеспечивается при минимальном содержании углерода и никеля и максимальном содержании хрома и марганца. Минимальное содержание марганца в основе наблюдается при минимальных количествах С, Мп, Сг и максимальном количестве Ni.

Таблица 2

Минимальные и максимальные значения функций: Mn_0 и KР_{Mn}

Table 2

Minimum and maximum values of functions: Mn_0 and KР_{Mn}

Функция	Уровень	Величина	Состав, масс. %			
			C	Mn	Cr	Ni
Mn_0	min	0,37	1,09	0,60	11,43	3,01
	max	5,79	1,09	5,40	25,57	0,19
KР_{Mn}	min	0,16	1,09	0,60	25,57	3,01
	max	2,48	3,91	0,60	11,43	0,19

Минимальное содержание марганца в карбидах, соответствующее минимальному значению KР_{Mn} , наблюдается при минимальном содержании углерода и марганца в чугунах, а также максимальных значениях хрома и никеля. Наибольшее значение коэффициента KР_{Mn} установлено при минимальном содержании в чугунах Мп, Сг и Ni, а также при максимальном содержании углерода.

Зависимости содержания марганца в основе от количества в чугунах С, Мп, Сг и Ni (рис. 1) носили линейный характер.

Повышение содержания Мп в чугунах повышало его концентрацию в основе, однако это повышение не имело пропорциональной зависимости.

При увеличении содержания хрома в чугунах концентрация марганца в основе повышалась, что связано с замещением атомов марганца атомами хрома в карбидах.

Повышение содержания углерода в чугунах увеличивало количество карбидов и, как следствие, снижало содержание Мп в основе, кроме чугунов, содержащих 11,5 % Cr и 0,6–2,0 % Мп. В этих чугунах при увеличении углерода, преимущественно формировались карбиды цементитного типа, обладающие меньшей растворимостью марганца по сравнению с карбидами Me_7C_3 [7], что повышало содержание марганца в основе.

Повышение содержания Ni в чугунах уменьшало растворимость углерода в аустените, что способствовало увеличению количества карбидов и незначительно понижало содержание Мп в основе.

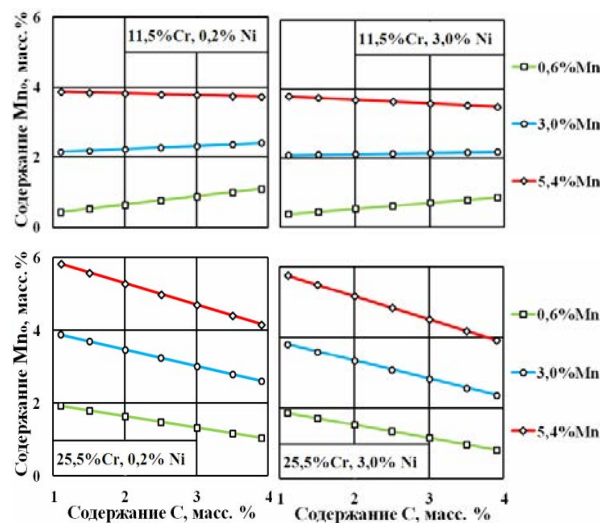


Рис. 1. Влияние С, Cr, Мп и Ni на содержание Мп в основе

Fig. 1. Influence of C, Cr, Mn and Ni on the Mn content in the base

Рис. 2 и 3 иллюстрируют влияние С и Сг на коэффициент межфазного распределения Мп в зависимости от химического состава чугунов.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

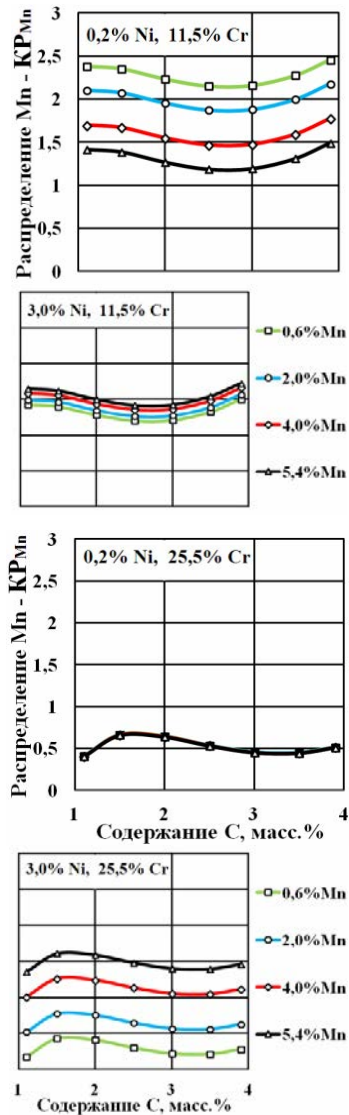


Рис. 2. Влияние C на межфазное распределение Mn в зависимости от химического состава чугуна

Fig. 2. Influence of C on the interphase distribution of Mn depending on the cast iron's chemical composition

Влияние углерода на распределение марганца объясняется изменением количества и типа образующихся карбидов. В чугунах, содержащих 11,5 % Cr и 1,1 % C, образовывались карбиды Me_7C_3 . При увеличении углерода происходило постепенное замещение этих карбидов карбидами цементитного типа, обладающих меньшей растворимостью хрома и марганца, что снижало коэффициент межфазного распределения марганца. При 2,7 % C снижение концентрации хрома в карбидах изменило тер-

модинамическое равновесие элементов, образующих карбиды, что способствовало росту концентрации марганца в карбидах цементитного типа и повышало коэффициент его распределения, при дальнейшем увеличении углерода в чугуне.

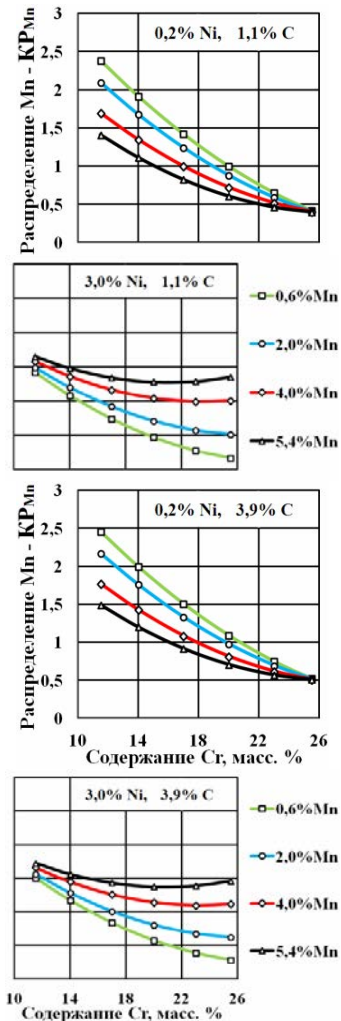


Рис. 3. Влияние Cr на межфазное распределение Mn в зависимости от химического состава чугуна

Fig. 3. Influence of Cr on the interphase distribution of Mn depending on the cast iron's chemical composition

В чугунах с 25,5 % Cr и 1,1 % C образовывались высокохромистые карбиды $Me_{23}C_6$, содержащие 56–66 % Cr. Увеличение содержания углерода до 1,7 % приводило к повышению количества карбидов, при этом происходило постепенное замещение карбидов $Me_{23}C_6$ карбидами Me_7C_3 , обладающими более высокой рас-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

творимостью марганца, что повышало коэффициент распределения марганца. При дальнейшем увеличении углерода количество карбидов возрастало, что вызывало снижение коэффициента $K_{P_{Mn}}$. При 3,3 % C начиналось постепенное замещение карбидов Me_7C_3 карбидами цементитного типа с растворимостью хрома до 20 %, что способствовало увеличению в них концентрации марганца и соответственно повышало коэффициент распределения $K_{P_{Mn}}$.

Повышение содержания марганца от 0,6 до 5,4 % в чугунах, содержащих 11,5 % Cr и 0,2 % Ni, понижало коэффициент распределения марганца, что объясняется образованием аустенита и повышением растворимости марганца в металлической основе.

При увеличении в чугуне никеля до 3 % аустенит образовывался при 0,6 % Mn, что снижало коэффициент распределения марганца и изменяло характера его влияния. При повышении концентрации марганца в чугуне коэффициент распределения марганца возрастал. Повышение содержания в чугуне хрома до 25,5 %, увеличивало интенсивность роста коэффициента распределения марганца по мере повышения его концентрации.

В чугунах, содержащих 25,5 % Cr и 0,2 % Ni, коэффициент распределения марганца не зависел от его количества в чугуне. Увеличение в чугуне никеля смещало этот эффект в область более низких концентраций хрома. Это связано с образованием различной металлической основы и соответственно с различной растворимостью в ней углерода.

Научная новизна и практическая значимость

Установлено, что основными факторами, определяющими величину коэффициента межфазного распределения марганца в комплексно легированных чугунах, является содержание в них марганца и хрома, количество и тип образующихся карбидов.

Полученные регрессионные зависимости позволяют прогнозировать содержание марганца в металлической основе и могут быть использованы при разработке новых составов износостойких чугунов.

Выводы

1. В Fe – C – Cr – Ni – Mn сплавах максимальное содержание марганца в основе имело место при минимальном содержании углерода и никеля и максимальном содержании хрома и марганца.

2. Максимальное значение коэффициента распределения марганца (преимущественное сосредоточение в карбидной фазе) достигалось при образовании карбидов цементитного типа в чугунах, содержащих максимальное количество углерода при минимальном содержании других легирующих элементов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вакуленко, І. О. Структурний аналіз в матеріалознавстві / І. О. Вакуленко. Дніпропетровськ : Маковецький, 2010. – 124 с.
2. Влияние легирования на температуру превращения «перлит–аустенит» в комплексно легированных белых чугунах / Т. В. Пастухова, В. Г. Ефременко, А. П. Чейлях [и др.] // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 1 (55). – С. 113–121. doi: 10.15802/STP2015/38255.
3. Волчок, И. П. Влияние легирования и термической обработки на распределение элементов и свойства высокохромистых чугунов / И. П. Волчок, В. В. Нетребко // Науч. вестн. Донбас. машиностроит. акад. : сб. науч. тр. – Краматорск, 2015. – № 3(18Е). – С. 52–59.
4. Гудремон, Э. Специальные стали / Э. Гудремон. – Москва : Металлургия, 1966. – Т. 1. – 736 с.
5. Кубашевски, О. Диаграммы состояния двойных систем на основе железа : справочник : [пер. с англ.] / О. Кубашевски. – Москва : Металлургия, 1985. – 184 с.
6. Металловедение и термическая обработка стали : справочник / под ред. М. Л. Бернштейна, А. Г. Рахштадта. – Москва : Металлургиздат, 1961. – Т. 1. – 747 с.
7. Нетребко, В. В. Влияние химического состава высокохромистых чугунов на обрабатываемость резанием / В. В. Нетребко // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 122–130. doi: 10.15802/stp2016/61015.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

8. Сильман, Г. И. Диаграмма состояния сплавов системы Fe–C–Mn и некоторые структурные эффекты в этой системе. Ч. 1. Межфазное распределение марганца / Г. И. Сильман // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2005. – № 2. – С. 11–15.
9. Сильман, Г. И. Диаграмма состояния сплавов системы Fe–C–Mn и некоторые структурные эффекты в этой системе. Ч. 2. Расчет и построение изотермических разрезв диаграммы / Г. И. Сильман // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2005. – № 4. – С. 3–9.
10. Сильман, Г. И. Сплавы системы Fe–C–Mn. Ч. 5. Особенности структурообразования в белых высокомарганцевых чугунах / Г. И. Сильман // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2006. – № 3 (609). – С. 3–8.
11. Чейлях, А. П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии / А. П. Чейлях. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2003. – 212 с.
12. Цыпин, И. И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства / И. И. Цыпин. – Москва : Металлургия, 1983. – 176 с.
13. Belikov, S. Manganese Influence on Chromium Distribution in High-Chromium Cast Iron / S. Belikov, I. Volchok, V. Netrebko // *Archives of Metallurgy and Materials*. – 2013. – Vol. 58. – Iss. 3. – P. 895–897. doi: 10.2478/amm-2013-0095.
14. Gieriek, A. Zeliwo stopowe jako tworzywo konstrukcyjne / A. Gieriek, L. Bajka. – Katowice : Slask, 1976. – 230 p.

В. В. НЕТРЕБКО^{1*}, І. П. ВОЛЧОК²

^{1*}Каф. «Обладнання та технологія зварювального виробництва», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69063, тел. +38 (050) 486 27 40, ел. пошта olgavvn@ukr.net, ORCID 0000-0003-3283-0116

²Каф. «Композиційні і порошкові матеріали та технології», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69063, тел. +38 (061) 769 83 51, ел. пошта tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0003-1580-0556

ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЧАВУНУ НА РОЗПОДІЛ Mn ПОМІЖ ФАЗАМИ

Мета. У науковій роботі передбачається розглянути отримання залежностей вмісту марганцю в металевій основі (Mn_0) та коефіцієнта його розподілу поміж фазами ($K_{P_{Mn}}$) від хімічного складу чавуну в системі Fe–C–Cr–Ni–Mn. **Методика.** Досліджували чавуни, які містили 1,09...3,91 % C, 0,6...5,4 % Mn, 11,43...25,57 % Cr та 0,19...3,01 % Ni. Для побудови математичної моделі розподілу марганцю застосували метод активного планування експерименту. Чавун плавив в індукційній печі з лужною футеровкою ємністю 60 кг. **Результати.** Марганець як елемент, що утворює карбіди, розподілявся поміж карбідами та металевою основою. Використовуючи методи математичної статистики, були встановлені регресійні залежності концентрації марганцю в основі та коефіцієнт його розподілу поміж фазами від вмісту в чавуні C, Mn, Cr та Ni. Концентрація марганцю в основі змінювалась від 0,37 % при 1,09 % C, 0,6 % Mn, 11,43 % Cr та 3,01 % Ni до 5,79 % при 1,09 % C, 5,4 % Mn, 25,57 % Cr та 0,19 % Ni. Мінімальна величина коефіцієнту розподілу склала 0,16 в чавуні, якій містив 1,09 % C, 0,6 % Mn, 25,57 % Cr і 3,01 % Ni. Якщо величина коефіцієнту $K_{P_{Mn}}$ була менше 1, то марганець переважно концентрувався в металевій основі. Максимальна величина коефіцієнту $K_{P_{Mn}}$ склала 2,48 при 3,91 % C, 0,6 % Mn, 11,43 % Cr і 0,19 % Ni. Розподіл марганцю залежав від кількості карбідів та співвідношення хрому до вуглецю, що визначало тип карбіду. Склад карбідів формувалася внаслідок конкурування елементів, що утворювали карбіди. **Наукова новизна.** Отриманні регресивні залежності вмісту марганцю в металевій основі та коефіцієнта його розподілу поміж фазами від хімічного складу чавуну в системі Fe–C–Cr–Ni–Mn. Встановлена залежність розподілу марганцю від процесів формування карбідів. **Практична значимість.** Отримані залежності дозволяють прогнозувати вміст марганцю в металевій основі та можуть бути використані при розробці зносостійких чавунів нового складу.

Ключові слова: чавун; марганець; розподіл; карбід; металева основа

V. V. NETREBKO^{1*}, I. P. VOLCHOK²^{1*}Dep. «Equipment and Technology of Welding Production», Zaporizhzhia National Technical University, Zhukovskiy St., 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69063, tel. +38 (050) 486 27 40, e-mail olgavvn@ukr.net, ORCID 0000-0003-3283-0116²Dep. «Composite and Powder Materials and Technologies», Zaporizhzhia National Technical University, Zhukovskiy St., 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69063, tel. +38 (061) 769 83 51, e-mail tmzntu@gmail.com, ORCID 0000-0003-1580-0556

INFLUENCE OF THE CAST IRON'S CHEMICAL COMPOSITION ON THE INTERPHASE DISTRIBUTION OF Mn

Purpose. This paper focuses on obtaining the dependencies of the manganese content in the metallic base (Mn_0) and its interphase distribution coefficient (KP_{Mn}) on the cast iron's chemical composition in the system Fe – C – Cr – Ni – Mn. **Methodology.** The cast irons containing 1.09...3.91 % C, 0.6...5.4 % Mn, 11.43...25.57 % Cr and 0.19...3.01 % Ni have been studied. The active experiment design techniques were applied to build a mathematical model of manganese distribution. Cast iron was smelted in the induction furnace with the capacity of 60 kg, with basic lining. **Findings.** Manganese, being a carbide-forming element, distributed between carbides and the metallic base. With the use of the mathematical statistics methods, regression dependencies of the manganese concentration in the base and its interphase distribution coefficient on the C, Mn, Cr and Ni content in the cast iron were established. The manganese concentration in the base varied from 0.37 % at 1.09 % C, 0.6 % Mn, 11.43 % Cr and 3.01 % Ni to 5.79 % at 1.09 % C, 5.4 % Mn, 25.57 % Cr and 0.19 % Ni. The minimum value of the interphase distribution coefficient was 0.16 in the cast iron containing 1.09 % C, 0.6 % Mn, 25.57 % Cr and 3.01 % Ni. When the KP_{Mn} coefficient values were lower than 1, manganese concentrated predominantly in the metallic base. The maximum value of the KP_{Mn} coefficient was 2.48 at 3.91 % C, 0.6 % Mn, 11.43 % Cr and 0.19 % Ni. The manganese distribution pattern was determined by the carbides' quantity and chromium and carbon ratio that determined the carbide type. The carbides' composition was formed as a result of carbide-forming elements contention. **Originality.** Regression dependencies of the manganese content in the base and its interphase distribution coefficient on the cast iron's chemical composition in the system Fe – C – Cr – Ni – Mn have been obtained. The dependency of the manganese distribution on the carbide forming processes has been established. **Practical value.** The obtained dependencies allow predicting the manganese content in the metallic base and may be used during the elaboration of the new wear resistant cast irons compositions.

Keywords: cast iron; manganese; distribution; carbide; metallic base

REFERENCES

1. Vakulenko I.O. *Strukturnyi analiz v materialoznavstvi* [Structural analysis in the material science]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2010. 124 p.
2. Pastukhova T.V., Efremenko V.G., Cheiliakh A.P., Shimizu K., Chabak Yu.G. Vliyanie legirovaniya na temperaturu prevrashcheniya «perlit–austenit» v kompleksno-legirovannykh belykh chugunakh [Effect of alloying on temperature of transformation «pearlite–austenite» in complex-alloyed white cast irons]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 1 (55), pp. 113-121. doi: 10.15802/stp2015/38255.
3. Volchok I.P., Netrebko V.V. Vliyaniye legirovaniya i termicheskoy obrabotki na raspredeleniye elementov i svoystva vysokokhromistyykh chugunov [Influence of alloying and heat treatment on the elements' distribution and properties of high-chromium cast irons]. *Sbornik nauchnykh trudov: «Nauchnyy Vestnik Donbasmkoy mashinostroitel'noy akademii»* [Proc. «Bulletin of Donbas Machine-Building Academy»], 2015, no. 3 (18E), pp. 52-59.
4. Gudremon E. *Spetsialnyye stali. T. 1* [Special steels. Vol. 1]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1966. 736 p.
5. Kubashevski O. *Diagrammy sostoyaniya dvoynykh sistem na osnove zheleza: spravochnik* [State diagrams of iron-based binary systems. Reference book]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1985. 184 p.
6. Bernshteyna M.L., Rakhshadtat A.G. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka stali: spravochnik. T. 1.* [Metal science and heat treatment of steel. Reference book. Vol. 1]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1961. 747 p.
7. Netrebko V.V. Vliyaniye khimicheskogo sostava vysokokhromistyykh chugunov na obrabatyvayemost rezaniyem [The Influence of chemical composition of high-chromium cast irons on the machinability]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2016, no. 1 (61), pp. 122-130. doi: 10.15802/stp2016/61015.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

8. Silman G.I. Diagramma sostoyaniya splavov sistemy Fe–C–Mn i nekotoryye strukturnyye efekty v etoy sisteme. Chast 1. Mezhfaznoye raspredeleniye margantsa [State diagram of the alloys of the Fe–C–Mn system and some structural effects in this system. Part 1. Interphase distribution of manganese]. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov – Metal Science and Heat Treatment of Metals*, 2005, no. 2, pp. 11-15.
9. Silman G.I. Diagramma sostoyaniya splavov sistemy Fe–C–Mn i nekotoryye strukturnyye efekty v etoy sisteme. Chast 2. Raschet i postroyeniye izotermicheskikh razrezov diagrammy [State diagram of the alloys of the Fe–C–Mn system and some structural effects in this system. Part 2. Calculation and plotting of the isothermal sections of the diagram]. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov – Metal Science and Heat Treatment of Metals*, 2005, no. 4, pp. 3-9.
10. Silman G.I. Splavy sistemy Fe–C–Mn. Chast 5. Osobennosti strukturoobrazovaniya v belykh vysokomargantsevykh chugunakh [Alloys of the Fe–C–Mn system. Part 5. Peculiarities of the structure formation in white high-manganese cast irons]. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov – Metal Science and Heat Treatment of Metals*, 2006, no. 3 (609), pp. 3-8.
11. Cheylyakh A.P. *Ekonomnolegirovannyye metastabilnyye splavy i uprochnyayushchiye tekhnologii* [Economically alloyed metastable alloys and reinforcement technologies]. Kharkov, NNTS KHFTI Publ., 2003. 212 p.
12. Tsylin I.I. *Belyye iznosostoykiye chuguny. Struktura i svoystva* [White wear resistant cast irons. Structure and properties]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1983. 176 p.
13. Belikov S., Volchok I., Netrebko V. Manganese Influence on Chromium Distribution in High-Chromium Cast Iron. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2013, vol. 58, issue 3, pp. 895-897. doi: 10.2478/amm-2013-0095.
14. Gierak A., Bajka L. *Zeliwo stopowe jako tworzywo konstrukcyjne*. Katowice, Slask Publ., 1976. 230 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. В. Наумиком (Украина); д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Украина)

Поступила в редколлегию: 07.09.2016

Принята к печати: 07.12.2016

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

УДК 621.744.54

П. Г. АНОФРИЕВ^{1*}

^{1*}Каф. «Прикладная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, эл. почта anofriev@mail.ru, ORCID 0000-0001-7997-3523

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОРМОВОЧНОГО ВИБРОСТОЛА

Цель. Одним из эффективных способов получения отливок сложной формы является литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) в вакуумируемые формы (контейнеры). Повышение качества этого способа литья требует совершенствования методики формовки. Формовочный процесс предусматривает послойное вибрационное уплотнение песка в контейнерах. Большинство линий участков ЛГМ оснащены вибростолами с инерционными вибраторами, с приводом от асинхронных электродвигателей, работающих на номинальных частотах вращения. Перспективным направлением совершенствования методики формовки является рациональная настройка таких параметров вибростола, как вибрационное перемещение, скорость и ускорение. Эти параметры определяются упруго-массовыми характеристиками системы «вибростол–форма» и возмущающими силами, создаваемыми инерционными вибраторами. Целью исследования является определение рациональных диапазонов настройки параметров вибраторов стола, при которых происходит качественное послойное уплотнение формовочного песка в форме. **Методика.** Критерием эффективности настройки характеристик вибростола приняты значения усредненных ускорений $6,5\text{--}7,5\text{ м/с}^2$, соответствующим наибольшей степени уплотнения сухого формовочного песка и диапазону значений ускорений $9\text{--}9,5\text{ м/с}^2$ для придания песку «псевдотекучести». Для целей исследования была разработана математическая модель колебаний подвижной части вибростола с двумя типами литейных контейнеров для установившихся и переходных режимов работы. **Результаты.** В процессе исследований колебаний формы на математической модели выполнены расчеты собственных частот колебаний при различных упруго-массовых характеристиках системы. Построены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) перемещений и ускорений подвижной части стола с контейнером, послойно заполненным формовочным песком. **Научная новизна.** Автором предложена методика определения диапазонов частотной настройки инерционных вибраторов стола, позволяющая получить качественное уплотнение сухого формовочного песка в форме. **Практическая значимость.** В процессе формовки, согласно технологии литья по газифицируемым моделям, из-за послойной засыпки модели формовочным песком масса формы возрастает. Изменение массовой характеристики формы требует оперативного изменения кинематической характеристики вибростола – вибрационного ускорения. Предложенная математическая модель позволяет определить диапазоны настройки частотных параметров инерционных вибраторов формовочного стола на всех этапах формовки.

Ключевые слова: вибрационное уплотнение; формовка; вибростол; математическая модель; собственные частоты; амплитудно-частотная характеристика

Введение

Технологическим процессом литья заготовок деталей сложной формы по газифицируемым моделям (ЛГМ) в вакуумируемые формы (контейнеры) предусмотрено заполнение полостей модели песком и последующее его уплотнение. Актуальность совершенствования способов уплотнения формовочного песка в литейных контейнерах, как одного из важных этапов процесса ЛГМ, отмечается в [11, 14, 15], при этом отсутствует единое мнение о параметрах вибрации форм с моделями, имеющими полости заполняемые – «теневые» места.

В настоящее время на участках ЛГМ применяют вибрационный и газодинамический способы уплотнения песка [4, 5, 13, 16, 17, 18].

Большинство линий участков ЛГМ оснащены вибростолами с инерционными вибраторами с приводом от асинхронных электродвигателей и питанием трехфазным током частотой 50 Гц. Вибростолы проектировались под определенную номенклатуру отливок, близких по массе и сложности. Сегодня сильно возросла конкуренция в литейном производстве, и расширился перечень требуемых отливок. Для получения качественного литья необходимо изменять режимы и параметры вибрации стола в соответствии с параметрами новых отливок и физико-механическими свойствами литейных контейнеров.

Экспериментальные исследования показали хорошие результаты уплотнения разных кварцевых песков при правильно выбранных параметрах вибрации уже через 20 с работы вибраторов стола [7].

В настоящей работе определены кинематические параметры процесса формовки с применением вибростолов в линиях уже существующих участков ЛГМ. Для расчета этих параметров были разработаны математические модели работы вибростола в установившихся и переходных режимах. С помощью ПЭВМ в пакете Mathcad на математических моделях было исследовано влияние упруго-массовых характеристик и параметров вибраторов на динамику работы стола. Получено и решено частотное уравнение для определения критических частот вибростола. Построены амплитудно-частотные характеристики перемещений и ускорений вибростола

с двумя типами контейнеров и разным объемом загруженного в них формовочного песка.

Полученные в работе результаты расчетов и построенные алгоритмы в полном объеме могут использоваться на этапах модернизации упругих опор действующих вибростолов и полной автоматизации процесса вибрационного уплотнения на основе информационных технологий управления с использованием интерфейса RS–485 и современных инверторов. Применение информационных технологий позволит полностью исключить ошибки оператора, управляющего виброуплотнением песка контейнеров, повысить производительность и качество литья.

Цель

Качественные отливки с использованием газифицируемых моделей получают при условии качественного уплотнения сухого формовочного песка в литейных контейнерах. Эффект уплотнения насыпных грузов в основном определяется величиной ускорений воздействующих на песок. Экспериментальными методами определен диапазон рациональных значений усредненных ускорений $6,5\text{--}7,5\text{ м/с}^2$, соответствующий наибольшей степени уплотнения сухого формовочного песка, и диапазон значений ускорений $9\text{--}9,5\text{ м/с}^2$ для придания песку псевдотекучести. Для вибрационного уплотнения сыпучих материалов наиболее широко применяются инерционные вибраторы, создающие колебания в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Наиболее высокие степени уплотнения материалов достигаются при работе вибраторов в диапазоне $8,3\text{--}36,7\text{ Гц}$ [2].

С целью минимизации энергетических и материальных затрат вибростолы с размещенными на них формами (контейнерами) настраивают для работы вблизи их собственных частот. Такая настройка хорошо подходит для уплотнения материалов с одинаковой массой. В литейном производстве деталей с использованием газифицируемых моделей формовочный песок засыпается в литейные контейнеры несколькими слоями, то есть масса контейнера в процессе формовки изменяется. Конфигурация моделей в большинстве случаев имеет сложную форму, поэтому перед уплотнением песка необходимо

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

обеспечить его движение в труднодоступные – «теневые» места моделей отливок.

Целью работы является определение значений настройки параметров вибростола, обеспечивающих заполнение «теневых» мест моделей отливок песком и последующее его уплотнение.

Для достижения указанной цели работы необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать математические модели колебаний для установившегося и переходного режимов работы вибростола.

2. С помощью компьютерного моделирования динамики вибростола получить рациональные параметры упругих опор вибростола и диапазоны настройки рабочей частоты вибраторов для разных уровней заполнения литейных контейнеров песком.

Методика

В данной работе разработана математическая модель колебаний подвижной части вибростола с двумя типами литейных контейнеров в установившихся и переходных режимах работы. Математическая модель описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка. Численное решение этих уравнений позволяет получить спектр собственных частот вибростола и амплитудно-частотные характеристики ускорений, действующих на сухой формовочный песок для различных значений упруго-массовых характеристик вибростола и параметров настройки его инерционных вибраторов. Анализ амплитудно-частотных характеристик ускорений разрешает определить рациональные параметры вибростола и режимы настройки вибраторов, соответствующие фазам псевдотекучести и уплотнения формовочного песка в литейных контейнерах.

Математическая модель колебаний вибростола с контейнером. При построении расчетной схемы вибростола (рис. 1) были приняты следующие допущения:

- рассматриваются малые колебания вибростола;
- вибростол, контейнеры с песком обладают сосредоточенными массами и абсолютно жесткие;

- амортизаторы вибростола имеют линейную характеристику восстанавливающей силы;
- восстанавливающая силовая характеристика амортизатора имеет две независимые составляющие: вертикальную и горизонтальную;
- энергия колебаний рассеивается только в амортизаторах за счет внутреннего трения и пропорциональна скорости;
- фундамент вибростола абсолютно жесткий;
- колебания спроецированы на плоскость ввиду симметричности вибростола;
- контейнер жестко установлен на вибростоле;
- установлен один вибратор, создающий возмущающую силу в вертикальной плоскости.

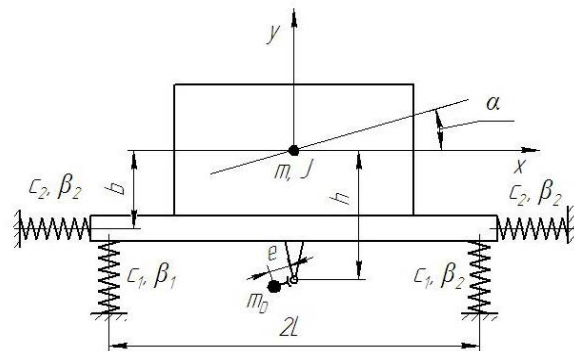


Рис. 1. Расчетная схема вибростола с контейнером

Fig. 1. Calculation model of the vibrating table with container

Горизонтальные вибраторы условно на схеме не показаны.

Колебательная система имеет три степени свободы: две линейных x , y и одну угловую α ; m , J – приведенные инерционные характеристики стола и контейнера; m_D – масса дисбаланса вибратора; e – эксцентриситет массы дисбаланса вибратора.

Уравнения свободных колебаний вибростола с контейнером. Свободные колебания вибростола с контейнером описываются уравнениями Лагранжа II рода [8, 9]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} = 0,$$

где T , Π – кинетическая и потенциальная энер-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

гии колебательной системы; t – время; q_i, \dot{q}_i – обобщенные координаты и скорости; Φ – функция рассеивания энергии.

В качестве обобщенных координат приняты координаты x, y, α центра масс колебательной системы.

Кинетическая энергия системы

$$T = \frac{1}{2} (m\dot{x}^2 + m\dot{y}^2 + J\dot{\alpha}^2).$$

Потенциальная энергия системы, накапливаемая при деформации амортизаторов

$$\Pi = c_1 \left[y^2 + (L\alpha)^2 \right] + c_2 (x + b\alpha)^2.$$

Функция рассеивания энергии

$$\Phi = \beta_1 \left[\dot{y}^2 + (L\dot{\alpha})^2 \right] + \beta_2 (\dot{x} + b\dot{\alpha})^2.$$

После подстановки кинетической и потенциальной энергий в уравнения Лагранжа II рода и алгебраических преобразований получены однородные дифференциальные уравнения движения, описывающие свободные колебания вибростола с контейнером без учета рассеивания энергии в системе

$$\begin{cases} m\ddot{y} + 2c_1 y = 0; \\ m\ddot{x} + 2c_2 x + 2c_2 b\alpha = 0; \\ J\ddot{\alpha} + 2c_2 bx + 2(c_1 L^2 + c_2 b^2) = 0. \end{cases}$$

Функция рассеивания энергии, как известно, не оказывает существенного влияния на собственные частоты систем [1], поэтому в уравнения Лагранжа не подставлялась. Первое уравнение системы описывает вертикальные колебания стола и не связано с остальными уравнениями, поэтому рассматривается отдельно от остальных. Второе и третье уравнения описывают горизонтальные и угловые колебания соответственно. Расчет инерционных характеристик колебательной системы выполнен на основании чертежей вибростола, контейнеров и фактической плотности формовочного песка. Инерционные характеристики двух типов контейнеров и подвижной части вибростола представлены табл. 1, 2. Условно, малый и большой

контейнеры названы «small» и «great» соответственно.

Таблица 1

Инерционные характеристики контейнеров

Table 1

Inertia characteristics of containers

Тип контейнера	Масса, кг		
	Контейнер	Песок	Общая
small	290	885	1 175
great	324	1 294	1 618

Окончание табл. 1

End of table 1

Тип контейнера	Момент инерции, кг·м ²		
	Контейнер	Песок	Общая
small	53,5	94	178
great	69,6	174	281

Таблица 2

Инерционные характеристики столешницы вибростола с контейнерами

Table 2

Inertia characteristics of vibrating table countertop with containers

Тип контейнера	Масса, кг	Главный момент инерции, кг·м ²
small	1 756	387
great	2 200	519

Собственные частоты колебаний вибростола с контейнером. Наиболее качественно уплотнение песка происходит при работе виброуплотняющих установок на частотах, близких к собственным частотам колебаний [12].

Собственные частоты горизонтальных и угловых колебаний подвижной части вибростола с контейнером определяются при решении частотного уравнения

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

$$mJp^4 - 2\left[mL^2c_1 + (J + mb^2)c_2\right]p^2 + 4c_1c_2L^2 = 0.$$

Собственная частота вертикальных колебаний подвижной части вибростола с контейнером

$$p_0 = \sqrt{2c_1/m}.$$

В процессе формовки масса контейнера изменяется. Вначале засыпают порцию песка и формируют так называемую «постель модели». Далее формовщик устанавливает модель и послойно засыпает ее песком. Каждому слою песка необходимо с помощью вибрации придать «текучесть», а затем его уплотнить.

С целью определения влияния массы песка на собственные частоты вертикальных, горизонтальных и угловых колебаний с помощью ПЭВМ в пакете Mathcad [6] были решены полученные выше частотные уравнения при следующих исходных данных (контейнер small):

$m=1057...1756$ кг; $J=303...386$ кг·м²
 $L=0,45$ м; $b=0,5$ м; $C_1=2,04$ МН/м; $C_2=0,33$ МН/м.

Влияние массы подвижной части вибростола с контейнером на собственную частоту можно увидеть на графиках (рис. 2).

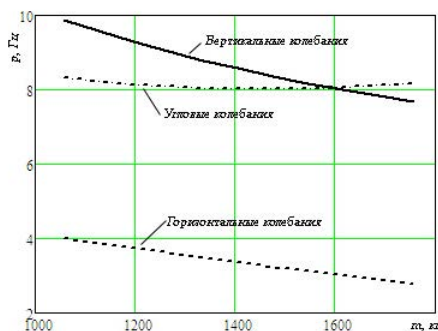


Рис. 2. Зависимость собственных частот от массы контейнера с песком

Fig. 2. Dependence of the natural frequencies on the container mass with sand

Собственная частота угловых колебаний системы изменяется незначительно, а собственные частоты колебаний по линейным обобщенным координатам изменяются на 20–25 %. Очевидно, для качественного послойного уп-

лотнения песка в контейнерах необходимо изменять параметры работы вибраторов.

На большинстве существующих столов установлены инерционные вибраторы общего назначения с ручной дискретной настройкой статического дисбаланса и частотой колебаний 46,3–47,5 Гц. Оперативно менять параметры вибрации с целью получения рациональных значений виброускорений стола с контейнером возможно изменением частоты тока питания асинхронных электродвигателей с помощью современных полупроводниковых инверторов.

Вынужденные колебания вибростола с контейнером в установившемся режиме работы. Уравнения динамики вибростола в установившемся режиме работ без учета диссипативных сил содержат в правой части возмущающие силы и момент от инерционного вибратора. Эти дифференциальные уравнения достаточно хорошо отражают динамику машины в нерезонансных режимах работы

$$\begin{cases} m\ddot{y} + 2c_1y = m_D e \omega^2 \cos(\omega t); \\ m\ddot{x} + 2c_2x + 2c_2b\alpha = m_D e \omega^2 \sin(\omega t); \\ J\ddot{\alpha} + 2c_2bx + 2(c_1L^2 + c_2b^2)\alpha = m_D e h \omega^2 \sin(\omega t). \end{cases}$$

Каждому значению амплитуды соответствует своя наиболее выгодная частота колебаний, при которой достигается максимальное уплотнение формовочного песка [2].

Предполагаемый тип вибратора стола – ИВ–99 с максимальным моментом статического дисбаланса 0,114 кг·м. Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) вибростола с принятыми выше исходными данными и контейнером «small» с «постелью» модели и одним вибратором (рис. 3–5) показывают развитие колебаний по всем обобщенным координатам системы. На этих рисунках хорошо виден рост амплитуд колебаний на критических частотах системы. При установке на вибростоле пары одинаковых синхронизированных вибраторов, создающих возмущающую силу исключительно в вертикальном направлении, возможно исследование только вертикальных колебаний с учетом диссипативных сил.

Дифференциальные уравнения движения, описывающее вынужденные колебания вибро-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

стола с контейнером с учетом рассеивания энергии в системе

$$m\ddot{y} + 2\beta\dot{y} + 2c_1y = m_D e \sin \omega t.$$

Решение этого уравнения не представляет никаких трудностей [9]. Ускорение системы с учетом рассеивания энергии в резиновых амортизаторах, обеспечивающее гашение амплитуд свободных колебаний на 90 % за n периодов

$$\ddot{y} = \frac{F\omega^4}{m\sqrt{(k^2 - \omega^2) + 4\left(\frac{2,3k \ln 10}{2\pi n}\right)^2 \omega^2}} \sin(\omega t + \alpha),$$

где $k = \sqrt{2c_1/m}$ – собственная частота системы; $n=5$ – количество периодов колебаний с уменьшением амплитуды на 90 %.

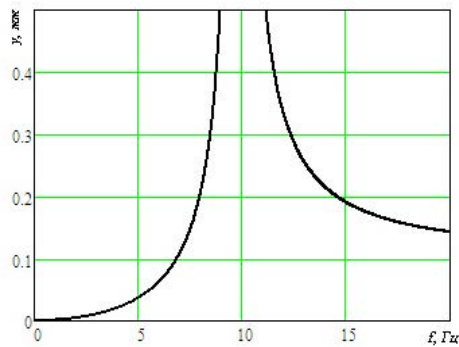


Рис. 3. АЧХ вертикальных колебаний системы

Fig. 3. The amplitude-frequency characteristics of the vertical oscillations of the system

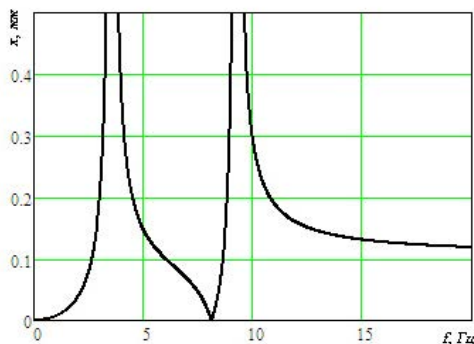


Рис. 4. АЧХ горизонтальных колебаний системы

Fig. 4. The amplitude-frequency characteristics of the horizontal oscillations of the system

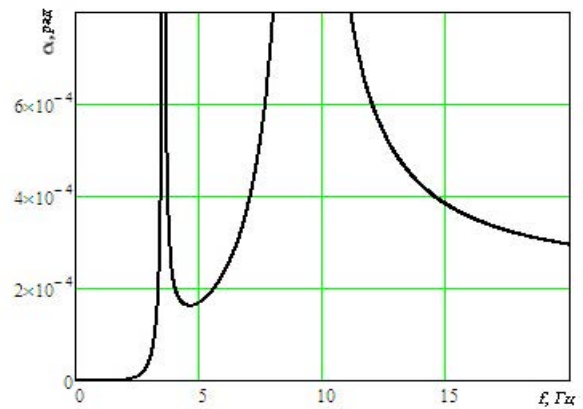


Рис. 5. АЧХ угловых колебаний системы

Fig. 5. The amplitude-frequency characteristics of the angular oscillations of the system

Для определения параметров вибровозбуждения с помощью ПЭВМ были выполнены варианты расчеты вертикальных виброускорений стола с контейнерами типов «small» и «great» для различных значений жесткости амортизаторов стола (рис. 6, рис. 7). Жесткость амортизаторов варьировалась путем изменения их высоты. В расчетах суммарный статический момент дисбаланса двух вибраторов типа ИВ–99 принят равным 0,228 кг·м.

На АЧХ виброускорений (рис. 6, 7) пунктирными линиями выделена зона ускорений, соответствующая эффективному уплотнению песка. АЧХ виброускорений системы построены для загруженных первым слоем песка – «постелью» контейнеров при различных жесткостях амортизаторов. Критерием выбора жесткости опор стола принято отсутствие превышения ускорения свободного падения при прохождении системой резонансной зоны при загрузке контейнера песком «постели». Хорошо видно, что приемлемая характеристика ускорений получена при высоте амортизатора $H=90$ мм (1,583 МН/м).

АЧХ виброускорений системы с послойной загрузкой песка в контейнеры (рис. 8, 9) и с амортизаторами стола высотой $H=90$ мм (1,583 МН/м).

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

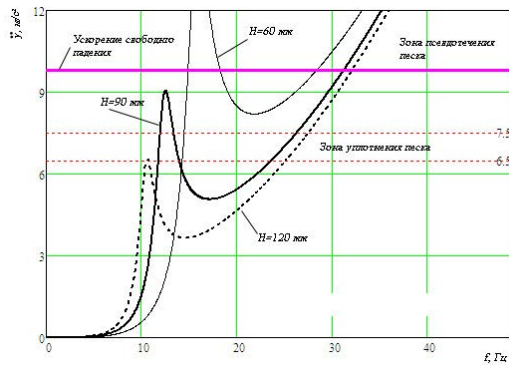


Рис. 6. АЧХ ускорений контейнера типа «small»

Fig. 6. The amplitude-frequency characteristics of accelerations of container type «small»

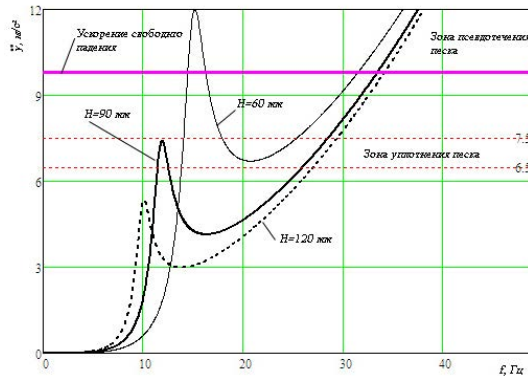


Рис. 7. АЧХ ускорений контейнера типа «great»

Fig. 7. The amplitude-frequency characteristics of accelerations of container type « great »

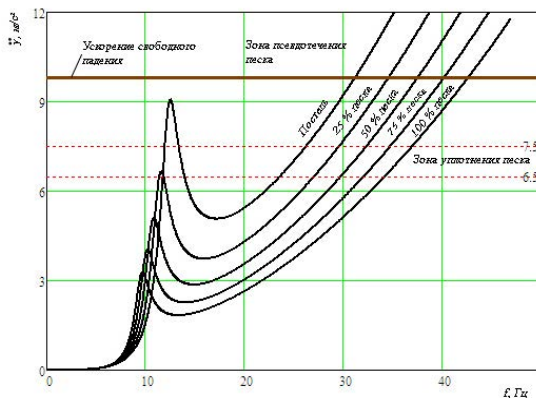


Рис. 8. АЧХ ускорений контейнера типа «small» с различной загрузкой песка

Fig. 8. The amplitude-frequency characteristics of accelerations of container type «small» with different load of sand

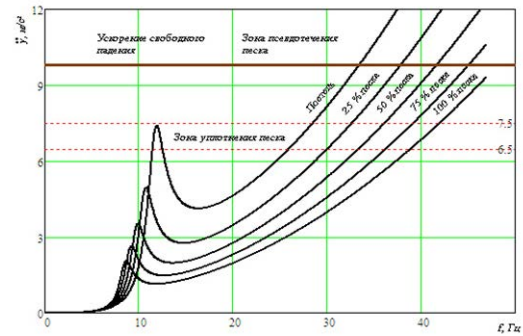


Рис. 9. АЧХ ускорений контейнера типа «great» с различной загрузкой песка

Fig. 9. The amplitude-frequency characteristics of accelerations of container type «great» with different load of sand

Динамика вертикальных колебаний при разгоне. Колебания стола с контейнером при разгоне (торможении) с постоянным угловым ускорением описывается дифференциальным уравнением

$$m\ddot{y} + 2\beta\dot{y} + 2c_1y =$$

$$= m_D e \left[(\omega_0 + \varepsilon t)^2 \sin \frac{\varepsilon t^2}{2} - \varepsilon \cos \frac{\varepsilon t^2}{2} \right],$$

где β – коэффициент вязкого трения; ω_0 – начальная угловая скорость вибратора; ε – угловое ускорение вибратора; t – текущее время.

Уравнение было решено численным методом с помощью компьютера для рассмотренных типов контейнеров с разной загрузкой песком, с разными угловыми ускорениями и высотой амортизатора $H=90$ мм (1,583 МН/м). Анализ результатов расчета ускорений малого контейнера (рис. 10) подтверждает правильный выбор жесткости амортизатора формовочного стола – ускорения вертикальных колебаний не превышают рекомендованного диапазона ускорений, а амплитуды колебаний примерно в два раза меньше, чем амплитуды колебаний при стационарном режиме работы вибраторов. Выбег вибраторов происходит с меньшим ускорением, чем при его разгоне, и этот недостаток может привести к росту значений виброускорений при прохождении собственных частот формовочного стола, сопровождающийся разуплотнением песка в контейнере. С целью ис-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

ключения этого вредного явления желательно осуществлять динамическое торможение вибраторов.

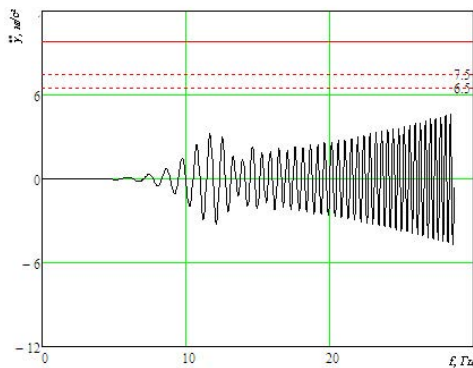


Рис. 10. Динамика ускорений малого контейнера при разгоне

Fig. 10. Acceleration dynamics of small container at acceleration

Результаты

По результатам расчетов АЧХ виброускорений определены частотные диапазоны работы вибраторов для эффективного уплотнения песка двух типов, рассматриваемых в статье контейнеров (табл. 3, 4). Амплитуды ускорений контейнеров в переходных режимах в диапазоне низшей собственной частоты формовочного стола примерно в два раза меньше амплитуд ускорений контейнеров при установившихся режимах работы инерционных вибраторов. Поэтому, если значения ускорений разгона и торможения вибраторов будут близки, то разуплотнения песка после его уплотнения не произойдет.

Таблица 3

Частотные диапазоны эффективного уплотнения песка в контейнере типа «small»

Table 3

Frequency ranges of efficient sand compaction in the container type «small»

Диапазон	Загруженность контейнера песком, %				
	«Постель»	25	50	75	100
Начало	23,51	27,0	29,7	32,0	34,1
Конец	26,18	29,6	32,3	34,7	36,9

Таблица 4

Частотные диапазоны эффективного уплотнения песка в малом контейнере

Table 4

Frequency ranges of efficient sand compaction in the small container

Диапазон	Загруженность контейнера песком, %				
	«Постель»	25	50	75	100
Начало	25,8	30	33,2	36,1	38,7
Конец	28,4	32,6	36	39,1	41,9

Верхние и нижние пределы этих частотных диапазонов отличаются незначительно – в зависимости от загрузки песком, всего на 2,6–3,0 Гц. Для надежного управления частотой работы вибраторов в таких узких диапазонах предпочтительно управление их инверторов проводить с помощью контроллера с интерфейсом RS-485.

Научная новизна и практическая значимость

Предложена методика определения диапазонов частотной настройки инерционных вибраторов стола, позволяющая получить качественное уплотнение сухого формовочного песка в форме.

В процессе формовки по технологии литья по газифицируемым моделям из-за послойной засыпки модели формовочным песком масса формы возрастает. Изменение массовой характеристики формы требует оперативного изменения кинематической характеристики вибростол – вибрационного ускорения. Предложенная математическая модель позволяет определить диапазоны настройки частотных параметров инерционных вибраторов формовочного стола на всех этапах формовки.

Результаты исследований являются исходными данными для разработки алгоритмов работы контроллера, управляющего инверторами (частотными преобразователями) вибраторов формовочного стола в процессе послойного уплотнения формовочного песка в литейных контейнерах.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Выводы

1. Построена математическая модель колебаний вибростола с двумя типами контейнеров, позволяющая определить рациональные настройки его характеристик для режимов «псевдотечения» и уплотнения формовочного песка.

2. Исследовано влияние упруго-массовых характеристик вибростола на собственные частоты колебаний.

3. Построены амплитудно-частотные характеристики виброускорений стола с двумя типами контейнеров.

4. Подготовлены таблицы частотной настройки вибраторов стола для эффективного уплотнения формовочного песка.

5. Изучена динамика разгона вибраторов стола с постоянным угловым ускорением.

6. Диапазоны рекомендуемых частот достаточно узкие, поэтому рекомендуется обеспечивать автоматическую поддержку заданной частоты с помощью контроллера.

7. Результаты исследований являются исходными данными для разработки алгоритмов работы контроллера, управляющего частотой вращения инерционных вибраторов формовочного стола.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вибрации в технике : справочник в 6 т. / под ред. В. В. Болотина. – Москва : Машиностроение, 1978. – Т. 1 : Колебания линейных систем. – 352 с.
2. Гончаревич, И. Ф. Теория вибрационной техники и технологии / И. Ф. Гончаревич, К. В. Фролов. – Москва : Наука, 1981. – 320 с.
3. Гуляев, Б. Б. Формовочные процессы / Б. Б. Гуляев, О. А. Горнюшкин. – Львов : Машиностроение, 1987. – 264 с.
4. Дорошенко, В. С. Газодинамическое уплотнение сухих формовочных наполнителей / В. С. Дорошенко // Литье и металлургия. – 2013. – № 2. – С. 15–22.
5. Дорошенко, В. С. Газодинамическое уплотнение сыпучих песчаных смесей / В. С. Дорошенко // Литье Украины : информ.-техн. бюл. – Киев, 2016. – № 2 (186). – С. 13–19.
6. Дьяконов, В. Mathcad 2000 / В. Дьяконов. – Санкт-Петербург : Питер, 2001. – 592 с.
7. Литье по газифицируемым моделям / под ред. Ю. А. Степанова. – Москва : Машиностроение, 1976. – 224 с.
8. Лойцянский, Л. Г. Курс теоретической механики / Л. Г. Лойцянский, А. Е. Лурье. – Москва : Наука. 1983. – Т. 2. – 640 с.
9. Пановко, Г. Я. Введение в теорию механических колебаний / Г. Я. Пановко. – Москва : Наука, 1980. – 272 с.
10. Русаков, П. В. Модель ЛТС с синхронизированными по частоте вибрационными машинами / П. В. Русаков, О. И. Шинский, В. В. Здохненко // Процессы литья. – 2010. – № 3 (81). – С. 36–45.
11. Рыбаков, С. А. Инновационные возможности литья по газифицируемым моделям, состояние и перспективы этого метода в России / С. А. Рыбаков // Литейщик России. – 2009. – № 4. – С. 44–45.
12. Шаталова, И. Г. Физико-химические основы вибрационного уплотнения порошковых материалов / И. Г. Шаталова, Н. С. Горбунов, В. И. Лихтман. – Москва : Наука, 1965. – 165 с.
13. Шинский, О. И. Литье в оболочковые формы, полученные пропиткой сухого песка связующим / О. И. Шинский, В. С. Дорошенко // Металл и литье Украины. – 2009. – № 7–8. – С. 16–22.
14. Шуляк, В. С. Литье по газифицируемым моделям / В. С. Шуляк. – Санкт-Петербург : НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.
15. Шуляк, В. С. О состоянии и развитии производства отливок литьем по газифицируемым моделям в России / В. С. Шуляк // Литье по газифицируемым моделям : сб. тр. 1-й Междунар. науч.-практ. конф. – Санкт-Петербург, 2007. – С. 58.
16. Degarmo, E. P. Materials and Processes in Manufacturing / E. P. Degarmo, J. T. Black, K. Ronald. – New York : Wiley, 2003. – 1168 p.
17. Tilabov, B. K. Heat Treatment of Wear Resistant Hardalloyed Coating of the Details Obtained by Casting on Gasified Models / B. K. Tilabov // Mining Magazine. – 2009. – № 8. – P. 95–97.
18. Patent WO2014101323 A1 China, Large-sized digital patternless casting forming machine / Zhongde Shan, Limin Liu, Feng Liu ; Advanced Manufacture Technology Center, China Academy Of Machinery Science & Technology. – № PCT/CN2013/070448 ; stated 15.01.2013 ; published 03.07.2014, Patentscope. – 4 p.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

П. Г. АНОФРІЄВ^{1*}

^{1*}Каф. «Прикладна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта anofriev@mail.ru, ORCID 0000-0001-7997-3523

ОБґРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОРМУВАЛЬНОГО ВІБРОСТОЛУ

Мета. Одним із ефективних способів отримання виливків складної форми є лиття по моделях, що газифікуються (ЛГМ), у вакуумуючі форми (контейнери). Підвищення якості цього способу лиття вимагає вдосконалення методики формування. Формувальний процес передбачає пошарове вібраційне ущільнення піску в контейнерах. Більшість ліній ділянок ЛГМ оснащені вібростолами з інерційними вібраторами, з приводом від асинхронних електродвигунів, що працюють на номінальних частотах обертання. Перспективним напрямком удосконалення методики формування є раціональна настройка таких параметрів вібростола, як вібраційне переміщення, швидкість і прискорення. Ці параметри визначаються пружно-масовими характеристиками системи «вібростіл-форма» і збурювальними силами, що створюються інерційними вібраторами. Метою дослідження є визначення раціональних діапазонів налаштування параметрів вібростола, при яких відбувається якісне пошарове ущільнення формувального піску в формі. **Методика.** Критерієм ефективності налаштування характеристик вібростола прийняті значення усереднених прискорень 6,5–7,5 м/с², відповідним до найбільшої міри ущільнення сухого формувального піску та діапазону значень прискорень 9–9,5 м/с² для надання піску «псевдоплинності». Для цілей дослідження була розроблена математична модель коливань рухомої частини вібростола з двома типами ливарних контейнерів для сталих і перехідних режимів роботи. **Результати.** У процесі досліджень коливань форми на математичній моделі виконані розрахунки власних частот коливань при різних пружно-масових характеристиках системи. Побудовані амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) переміщень і прискорень рухомої частини столу з контейнером, пошарово заповненим формувальним піском. **Наукова новизна.** Автором запропоновано методику визначення діапазонів частотного налаштування інерційних вібраторів столу, що дозволяє отримати якісне ущільнення сухого формувального піску в формі. **Практична значимість.** У процесі формування, згідно з технологією лиття по моделях, що газифікуються, через пошарову засипку моделі формувальним піском маса форми зростає. Зміна масової характеристики форми вимагає оперативної зміни кінематичної характеристики вібростола – вібраційного прискорення. Запропонована математична модель, що дозволяє визначити діапазони настройки частотних параметрів інерційних вібраторів формувального столу на всіх етапах формування.

Ключові слова: вібраційне ущільнення; формування; вібростіл; математична модель; власні частоти; амплітудно-частотна характеристика

P. G. ANOFRIEV^{1*}

^{1*}Dep. «Applied Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e. mail anofriev@mail.ru, ORCID 0000-0001-7997-3523

JUSTIFICATION OF RATIONAL KINEMATIC CHARACTERISTICS OF MOLDING VIBRATING TABLE

Purpose. One of the efficient ways to obtain castings of complex shape is lost foam casting (LFC) in the evacuated molds (containers). Upgrading the quality of this casting method requires improvement of molding techniques. The molding process involves layer-by-layer vibratory compaction of sand in the containers. Most of the lines of LFC sections are equipped with vibrating tables with inertia oscillators driven by induction motors, operating at nominal speed. A promising way of improving the molding technique is the rational setting of the following parameters of vibrating table: vibration displacement, velocity and acceleration. These parameters are determined by the elastic-mass characteristics of the system «vibrating table – mold» and perturbing forces created by inertia oscillators. The aim of the study is to determine the rational range of setting the parameters of oscillators at which the qualitative layer-by-layer compaction of the molding sand in the mold takes place. **Methodology.** The efficiency crite-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

rion for setting characteristics of the vibrating table there were taken the values of averaged accelerations of $6.5 - 7.5 \text{ m/s}^2$ corresponding to maximum compaction degree of dry molding sand and the range of acceleration values $9 - 9.5 \text{ m/s}^2$ for giving the sand «pseudo-yielding». For the study it was developed a mathematical model of oscillations of the movable part of vibrating table with two types of casting containers for steady and transient operation modes. **Findings.** In the process of research of the mold oscillations it was calculated the natural frequencies of oscillations at different elastic-mass characteristics of the system using a mathematical model. It was constructed the frequency response of displacements and accelerations of the moving part of the table with container filled with molding sand layer-by-layer. **Originality.** The author proposes a method of determining the range of frequency setting of inertial oscillators of table, which make it possible to obtain qualitative compaction of dry molding sand in the mold. **Practical value.** In the process of molding using the lost foam casting models the mold mass is increasing due to the layer-by-layer filling of the mold with molding sand. The change of mass characteristics of the mold requires operational change of the kinematic characteristics of the vibrating table – vibration acceleration. The proposed mathematical model allows determining the ranges of setting the frequency parameters of inertial oscillators of molding table at all stages of molding.

Keywords: vibratory compaction; molding; vibrating table; mathematical model; natural frequencies; frequency response

REFERENCES

1. Bolotin V.V. *Vibratsii v tekhnike. Tom 1: «Kolebaniya lineynykh system»* [Vibrations in engineering. Vol. 1: «Vibrations of linear systems»]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1978. 352 p.
2. Goncharevich I.F., Frolov K.V. *Teoriya vibratsionnoy tekhniki i tekhnologii* [The theory of vibration engineering and technology]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 320 p.
3. Gulyayev B.B., Gorniyushkin O.A. *Formovochnyye protsessy* [Forming processes]. Lvov, Mashinostroyeniye Publ., 1987. 264 p.
4. Doroshenko V.S. Gazodinamicheskoye uplotneniye sukhikh formovochnykh napolniteley [Gas seal of the dry molding fillers]. *Litye i metallurgiya – Casting and Metallurgy*, 2013, no. 2, pp. 15-22.
5. Doroshenko V.S. Gazodinamicheskoye uplotneniye sypuchikh peschanykh smesey [Gas seal of loose sand mixtures]. *ITB «Litye Ukrainy» – Information and Technical Bulletin «Casting of Ukraine»*, 2016, no. 2 (186), pp. 13-19.
6. Dyakonov V. Mathcad 2000. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2001. 592 p.
7. Stepanov Yu.A. *Litye po gazifitsiruyemym modelyam* [Lost foam casting]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1976. 224 p.
8. Loytsyanskiy L.G., Lurye A.Ye. *Kurs teoreticheskoy mekhaniki. Tom 2* [Course of theoretical mechanics. Volume 2]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 640 p.
9. Panovko G.Ya. *Vvedeniye v teoriyu mekhanicheskikh kolebaniy* [Introduction to the theory of mechanical oscillations]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 272 p.
10. Rusakov P.V., Shinskiy O.I., Zdokhnenko V.V. Model LTS s sinkhronizirovannymi po chastote vibratsionnymi mashinami [The model of casting-technological system with frequency synchronized vibrating machines]. *Protsessy litya – Casting Processes*, 2010, no. 3 (81), pp. 36-45.
11. Rybakov S.A. Innovatsionnyye vozmozhnosti litya po gazifitsiruyemym modelyam, sostoyaniye i perspektivy etogo metoda v Rossii [Innovative abilities of lost foam casting, the state and prospects of this method in Russia]. *Lityeshchik Rossii – Russian Caster*, 2009, no. 4, pp. 44-45.
12. Shatalova I.G., Gorbunov N.S., Likhtman V.I. *Fiziko-khimicheskiye osnovy vibratsionnogo uplotneniya poroshkovykh materialov* [Physico-chemical bases of vibration compaction of powder materials]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 165 p.
13. Shinskiy O.I., Doroshenko V.S. Litye v obolochkovyye formy, poluchennyye propitkoy sukhogo peska svyazuyushchim [Casting in shell molds obtained by liquid molding of dry sand]. *Metall i litye Ukrainy – Metal and Casting of Ukraine*, 2009, no. 7-8, pp. 16-22.
14. Shulyak V.S. *Litye po gazifitsiruyemym modelyam* [Lost foam casting]. Saint-Petersburg, NPO «Professional» Publ., 2007. 408 p.
15. Shulyak V.S. O sostoyanii i razvitiy proizvodstva otlivok lityem po gazifitsiruyemym modelyam v Rossii [About status and development of the production of castings by lost foam casting in Russia]. *Sbornik trudov 1-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Litye po gazifitsiruyemym modelyam»* [Proc. of Sci. and Practical Conf. «Lost Foam Casting»]. Saint-Petersburg, 2007. 58 p.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

16. DeGarmo E. Paul, Black J. T., Ronald A. Kohser. Materials and Processes in Manufacturing. New York, Wiley Publ., 2003. 1168 p.
17. Tilabov B.K. Heat Treatment of Wear Resistant Hardalloyed Coating of the Details Obtained by Casting on Gasified Models. *Mining Magazine*, 2009, no. 8, pp. 95-97.
18. Zhongde Shan, Limin Liu, Feng Liu. Patent WO2014101323 A1 China, Large-sized digital pattern less casting forming machine. Advanced Manufacture Technology Center, China Academy Of Machinery Science & Technology. No. PCT/CN2013/070448; stated 15.01.2013; published 03.07.2014, Patentscope. 4 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. С. В. Ракиной (Украина); д.т.н., проф. С. В. Белодеденко (Украина)

Поступила в редколлегию: 01.09.2016

Принята к печати: 05.12.2016

UDC 621.867.3

V. M. BOHOMAZ^{1*}, M. V. BORENKO^{2*}, S. V. PATSANOVSKIY^{3*}, O. O. TKACHOV^{4*}

^{1*}Dep. «Military Training of Specialists of the State Special Service of Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 19 09, e-mail wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

^{2*}Dep. «Military Training of Specialists of the State Special Service of Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 19 09, e-mail bmw1961@ukr.net, ORCID 0000-0001-9578-3906

^{3*}Dep. «Military Training of Specialists of the State Special Service of Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 19 09, e-mail psven68@i.ua, ORCID 0000-0002-1628-3733

^{4*}Dep. «Military Training of Specialists of the State Special Service of Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 19 09, e-mail otkachov@i.ua, ORCID 0000-0002-1857-7567

ANALYSIS OF INFLUENCE OF DESIGN CHARACTERISTICS
OF INCLINED BUCKET ELEVATOR ON THE POWER OF ITS DRIVE

Purpose. One of the main elements of the inclined belt bucket elevators is their drive. To determine the drive power, it is necessary to carry out calculations according to standard methods, which are described in the modern literature. The basic design parameters are the productivity, lifting height, type and properties of the transported material, the angle of inclination. It is necessary to build a parametric dependence of the driving power of the elevator on its design parameters, which takes into account the standard sizes and types of buckets and belts. **Methodology.** Using the methodology of traction calculation of inclined belt bucket elevator there were built parametric dependences of efforts in specific points of the route of the elevator, as well as the parametric dependences of the drive power of high-speed elevators with deep and shallow buckets on their design parameters and characteristics. **Findings.** On the basis of constructed parametric dependencies, it was found that the function of changing the value of the elevator's power from design capacity (at fixed lifting height, type of cargo, belt speed) is piecewise constant and monotonically increasing. It was built a graphical representation of elevator drive power on the angle of its inclination within acceptable limits of change. The resulting relationship is non-linear and monotonically decreasing. In general terms the intervals of project performance values, which provide a constant value of drive power of inclined elevator were defined. As an example of the obtained results it was observed the process of dependence construction of the drive power on design capacity and inclination angle of the elevator for transporting the fine coal. **Originality.** For the first time there were constructed the parametric dependences of drive power of inclined bucket elevator on its design parameters that take into account the standard sizes and types of buckets and belts. **Practical value.** Using the constructed dependencies enables relatively quick determination of the approximate value of the drive power of high-speed inclined elevators with deep and shallow buckets at the design stage and high-quality selection of its basic elements in the design of specific characteristics: type of cargo, productivity, lifting height, angle of inclination.

Keywords: inclined elevator; bucket; drive; power; productivity; cargo; angle of inclination

Introduction

Increasing the pace of economic development is impossible without technical re-equipment of production. The successful solution of this problem is largely determined by implementation of new technologies with the use of stream-flow transportation machines. They have great performance and length of transportation and can replace batch machines in traditional application fields, such as hauling, handling and warehousing operations. These machines have become very popular in mass

and high-volume production with wide use of automatic lines. A special type of stream-flow transportation machines is inclined belt bucket elevators. Generally, elevators are the lifts that are used for vertical and steeply inclined (at an angle 60–82°) displacement of bulk and piece cargo without intermediate loading and unloading. Their use when transporting materials increase the efficiency of the production process in many industries: chemical, metallurgical, engineering, etc.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

The main publications describing the structure, design features, performance and design parameters of elevators, including the inclined ones are the following works [5-9, 11-15]. To determine the drive power of inclined elevator it is necessary to conduct a detailed calculation of its elements and perform a selection of basic elements of the drive. The order of these calculations is described in detail in the works [8, 9]. It should be noted that the use of traditional calculation methodology of the elevator's drive requires a lot of time. To improve the design process of the inclined elevator's drive it is necessary to define a scheme that makes it possible to determine the required drive power value depending on the specific design parameters: the type of load, lifting height, track inclination angle and performance using simpler calculations. The works [2-4] of one of the authors include similar scheme for vertical elevators and conveyor belts. The natural generalization and continuation of these works will be the construction of schemes for inclined elevators. This is because the inclined elevators as opposed to the vertical ones include the component of tension force related to the force of belt friction on the support elements.

Purpose

The article is aimed to construct and analyze the parametric dependence of inclined elevator's drive power on its design parameters (type of load, lifting height, angle of inclination, performance) taking into account the standard sizes and parameters of buckets and belts.

Methodology

In general, for design of stream-flow transportation machines one should have the following basic data:

- diagram of machine track with indicated places of loading and unloading;
- appointment, conditions and operation mode of machine and the place of its installation;
- the required performance;
- characteristics of transported cargoes.

Thus, the initial data for design calculation of the elevator are such values as the transported material (its density and physical and mechanical properties) lift height of cargo, inclination angle of elevator to the horizon, required performance.

To construct general dependence of drive power on the performance there will be used the required coefficients at the values that make it possible to calculate the corresponding values of the required drive power for specific types of cargoes.

By analogy with [3] let us consider the value α that takes into account the properties of transported cargo for further studies:

$$\alpha = 3,6\nu\rho\psi. \quad (1)$$

Linear content of the elevator's bucket:

$$\frac{i_0}{t} = \frac{Pr}{3,6\nu\rho\psi} = \frac{Pr}{\alpha}, \quad (2)$$

where α – is a value that takes into account characteristics of the cargo and is calculated using dependence (1), t m/l h; ψ – is a coefficient of bucket fill (according to the physical and mechanical properties of cargo); t – is a spacing of the buckets, m; ρ – is a cargo density, t/m³; ν – is a speed of the belt movement, m/s.

According to the value of linear content of elevator's bucket calculated from the formula (2) the type and spacing of buckets in accordance with the table 1 recommended by the work [9] are selected. Selection of buckets type depends on the properties of the material, which is being transported. Deep buckets are used for free-flowing, dusty and small pieced cargoes; the shallow ones – for non-free-flowing cargoes.

To take account physical and mechanical properties of the cargo, which is being transported in further calculations let us construct the correspondence tables of elevator parameters specified in the Table 1 to the performance value expressed by the formula (2) in the parts of coefficient α . The obtained data will be tabulated in the Tables 2, 3 for elevators with deep and shallow buckets respectively.

Based on the design value of elevator productivity and the type of material, which is being transported according to the Tables 2 and 3, the bucket parameters, their spacing on the belt and the required width of the belt are selected. Characteristics of deep and shallow buckets are shown in the Tab. 4.

Table 1

Value of linear content of buckets

Bucket width B_b , mm	Belt width B , mm	Spacing of the buckets t , mm	Bucket			
			deep		shallow	
			i_0 , l	$\frac{i_0}{t}$, l/m	i_0 , l	$\frac{i_0}{t}$, l/m
1	2	3	4	5	6	7
100	125	200	0.2	1	0.1	0.5
125	150	320	0.4	1.3	0.2	0.66
160	200	320	0.6	2	0.35	1.17
200	250	400	1.3	3.24	0.75	1.87
250	300	400	2.0	5	1.4	3.5
320	400	500	4.0	8	2.7	5.4
400	500	500	6.3	12.6	4.2	8.4
500	650	630	12	19	-	-
650	800	630	18	28.6	-	-
800	1000	800	32	40	-	-
1000	1200	800	45	56.25	-	-

Table 2

Dependence of parameters of deep buckets on the elevator's productivity

Bucket width B_b , mm	Belt width B , mm	Spacing of the buckets t , mm	Bucket capacity i_0 , l	Elevator productivity, t/h
100	125	200	0.2	α
125	150	320	0.4	1.3α
160	200	320	0.6	2α
200	250	400	1.3	3.24α
250	300	400	2.0	5α
320	400	500	4.0	8α
400	500	500	6.3	12.6α
500	650	630	12	19α
650	800	630	18	28.6α
800	1000	800	32	40α
1000	1200	800	45	56.25α

Table 3

Dependence of parameters of shallow buckets on the elevator's productivity

Bucket width B_b , mm	Belt width B , mm	Spacing of the buckets t , mm	Bucket capacity i_0 , l	Elevator productivity, t/h
100	125	200	0.1	0.5α
125	150	320	0.2	0.66α
160	200	320	0.35	1.17α
200	250	400	0.75	1.87α
250	300	400	1.4	3.5α
320	400	500	2.7	5.4α
400	500	500	4.2	8.4α

Table 4

Description of elevator buckets

Bucket type	Internal size of bucket, mm				Bucket capacity, l
	width B_b	outrreach A_b	height	R	
Rounded deep one D	100	50	65	25	0.1
	100	75	80	25	0.2
	125	90	95	30	0.4
	160	105	110	35	0.6
	200	125	135	40	1.3
	250	140	150	45	2.0
	320	175	190	55	4.0
	400	195	210	60	6.3
	500	235	255	75	12
	650	250	275	80	18
	800	285	325	85	32
	1000	310	355	95	45
Bucket type	Internal size of bucket, mm				Bucket capacity, l
	width B_b	outrreach A_b	height	R	
Rounded shallow one S	125	65	85	30	0.2
	160	75	100	35	0.35
	200	95	130	40	0.75
	250	120	160	55	1.4
	320	145	190	70	2.7
	400	170	220	85	4.2

For clearness of further research let us take the conveyor belt according to State Standard 20-85 of the type BKNL-150 as traction body of elevator. The actual number of spacer plates of the belt can be 3-6.

The belt thickness is determined by the formula

$$\delta_b = \delta_o + i\delta_f + \delta_n, \quad (3)$$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

where $\delta_o = 3$ mm, $\delta_n = 1,5$ mm – is the thickness of rubber coatings from the working and non-working sides of the belt; $\delta_f = 1,6$ mm – is the thickness of fabric insert ply, i – is the number of fabric insert plies.

The weight of one running meter of belt is determined by the formula

$$q_b = 10^{-6} B \delta_b \rho_b g, \quad (4)$$

where $\rho_b = 1100$ kg/m³ – belt density.

Involving the formulas (3)-(4) in the calculation let us present the table of correspondence of width and linear weight of the belt with a different number of insert plies to design values of elevator productivity for deep and shallow buckets.

Table 5

Linear weight of belts for deep buckets

Bucket width B , mm	Linear weight of the belt at $i = 3$, N/m	Linear weight of the belt at $i = 4$, N/m	Linear weight of the belt at $i = 5$, N/m	Linear weight of the belt at $i = 6$, N/m	Elevator productivity, t/h
125	12.5	14.7	16.8	19.0	α
150	15.0	17.6	20.2	22.8	1.3α
200	20.1	23.5	27.0	30.4	2α
250	25.1	29.4	33.7	38.0	3.24α
300	30.1	35.3	40.4	45.6	5α
400	40.1	47.0	53.9	60.8	8α
500	50.1	58.8	67.4	76.0	12.6α
650	65.2	76.4	87.6	98.8	19α
800	80.2	94.0	107.8	121.6	28.6α
1000	100.3	117.5	134.8	152.0	40α
1200	120.3	141.0	161.7	182.4	56.25α

Table 6

Linear weight of belts for shallow buckets

Bucket width B , mm	Linear weight of the belt at $i = 3$, N/m	Linear weight of the belt at $i = 4$, N/m	Linear weight of the belt at $i = 5$, N/m	Linear weight of the belt at $i = 6$, N/m	Elevator productivity, t/h
125	12.5	14.7	16.8	19.0	0.5α
150	15.0	17.6	20.2	22.8	0.66α
200	20.1	23.5	27.0	30.4	1.17α
250	25.1	29.4	33.7	38.0	1.87α
300	30.1	35.3	40.4	45.6	3.5α
400	40.1	47.0	53.9	60.8	5.4α
500	50.1	58.8	67.4	76.0	8.4α

Distributed weight of cargo per 1 m of belt is determined by the formula:

$$q_w = \frac{Pr g}{3,6v} = \lambda Pr, \quad (5)$$

where $\lambda = \frac{g}{3,6v}$ – coefficient depending on the belt speed, N·s/kg·m.

The dependence of value of distributed weight of cargo on the design productivity calculated by the formula (5) is given in the Table 7.

Table 7

Distributed weight of cargo

Bucket width B_b , mm	Distributed cargo weight during operation of elevator with shallow buckets N/m	Elevator productivity with shallow buckets, N/m	Distributed cargo weight during operation of elevator with deep buckets N/m	Elevator productivity with deep buckets, N/m
100	$0.5a\lambda$	$0.5a$	$a\lambda$	a
125	$0.66a\lambda$	$0.66a$	$1.3a\lambda$	$1.3a$
160	$1.17a\lambda$	$1.17a$	$2a\lambda$	$2a$
200	$1.87a\lambda$	$1.87a$	$3.24a\lambda$	$3.24a$
250	$3.5a\lambda$	$3.5a$	$5a\lambda$	$5a$
320	$5.4a\lambda$	$5.4a$	$8a\lambda$	$8a$
400	$8.4a\lambda$	$8.4a$	$12.6a\lambda$	$12.6a$
500	-	-	$19a\lambda$	$19a$
650	-	-	$28.6a\lambda$	$28.6a$
800	-	-	$40a\lambda$	$40a$
1000	-	-	$56.25a\lambda$	$56.25a$

Linear weight of the belt with buckets is determined by the formula:

$$q_x = q_b + \frac{m_b g}{t}, \quad (6)$$

where m_b – bucket weight, kg (Tab. 8).

Linear burden on the loaded strand is determined using the formula:

$$q_o = q_x + q_w. \quad (7)$$

The estimated weight of deep and shallow buckets is given in the Table 8 [9].

Involving the formulas (6)-(7) in the calculation and taking into account data from the Table 8 let us determine the dependency of linear load on the loaded strand of elevator on the productivity values for deep and shallow buckets. The obtained results of calculations for belts with different number of insert plies is presented in the Tables 9, 10.

Table 8

Estimated mass of elevator's buckets

Bucket width, mm	Wall thickness, mm	Weight of one bucket, kg	
		Deep	Shallow
100	2	0.5	0.4
125	2	0.7	0.6
160	2	0.9	0.7
200	3	2	1.5
250	3	3	2
320	3	5	5
400	4	11	10
500	5	18	-
650	5	23	-
800	6	28	-
1000	6	33	-

Table 9

The linear load on the loaded strand for deep buckets

Bucket width B_b , mm	Distributed weight of cargo q_w , N/m	Linear load on loaded strand at the belt with $i = 3$ q_o , N/m	Linear load on loaded strand at the belt with $i = 4$ q_o , N/m	Linear load on loaded strand at the belt with $i = 5$ q_o , N/m	Linear load on loaded strand at the belt with $i = 6$ q_o , N/m	Elevator productivity, t/h
100	$\alpha\lambda$	$37+\alpha\lambda$	$39.2+\alpha\lambda$	$41.3+\alpha\lambda$	$43.5+\alpha\lambda$	α
125	$1.3\alpha\lambda$	$36.4+1.3\alpha\lambda$	$39+1.3\alpha\lambda$	$41.6+1.3\alpha\lambda$	$44.2+1.3\alpha\lambda$	1.3α
160	$2\alpha\lambda$	$47.7+2\alpha\lambda$	$51.1+2\alpha\lambda$	$54.6+2\alpha\lambda$	$58+2\alpha\lambda$	2α
200	$3.24\alpha\lambda$	$74.1+3.24\alpha\lambda$	$78.4+3.24\alpha\lambda$	$82.7+3.24\alpha\lambda$	$87+3.24\alpha\lambda$	3.24α
250	$5\alpha\lambda$	$103.6+5\alpha\lambda$	$108.8+5\alpha\lambda$	$113.9+5\alpha\lambda$	$119.1+5\alpha\lambda$	5α
320	$8\alpha\lambda$	$138.1+8\alpha\lambda$	$145+8\alpha\lambda$	$151.1+8\alpha\lambda$	$158+8\alpha\lambda$	8α
400	$12.6\alpha\lambda$	$265.7+12.6\alpha\lambda$	$274.4+12.6\alpha\lambda$	$283+12.6\alpha\lambda$	$291.6+12.6\alpha\lambda$	12.6α
500	$19\alpha\lambda$	$345.2+19\alpha\lambda$	$356.4+19\alpha\lambda$	$367.6+19\alpha\lambda$	$378.8+19\alpha\lambda$	19α
650	$28.6\alpha\lambda$	$438+28.6\alpha\lambda$	$451.8+28.6\alpha\lambda$	$465.6+28.6\alpha\lambda$	$479.4+28.6\alpha\lambda$	28.6α
800	$40\alpha\lambda$	$443.3+40\alpha\lambda$	$460.5+40\alpha\lambda$	$477.8+40\alpha\lambda$	$495+40\alpha\lambda$	40α
1000	$56.25\alpha\lambda$	$524.6+56.3\alpha\lambda$	$545.3+56.3\alpha\lambda$	$566+56.3\alpha\lambda$	$586.7+56.3\alpha\lambda$	56.25α

Table 10

The linear load on the loaded strand for shallow buckets

Bucket width B_b , mm	Distributed weight of cargo q_w , N/m	Linear load on loaded strand at the belt with $i = 3$ q_o , N/m	Linear load on loaded strand at the belt with $i = 4$ q_o , N/m	Linear load on loaded strand at the belt with $i = 5$ q_o , N/m	Linear load on loaded strand at the belt with $i = 6$ q_o , N/m	Elevator productivity, t/h
1	2	3	4	5	6	7
100	$0.5\alpha\lambda$	$32.1+0.5\alpha\lambda$	$34.3+0.5\alpha\lambda$	$36.4+0.5\alpha\lambda$	$38.6+0.5\alpha\lambda$	0.5α
1	2	3	4	5	6	7
125	$0.66\alpha\lambda$	$33.4+0.66\alpha\lambda$	$36+0.66\alpha\lambda$	$37.8+0.66\alpha\lambda$	$40.4+0.66\alpha\lambda$	0.66α
160	$1.17\alpha\lambda$	$41.5+1.17\alpha\lambda$	$44.9+1.17\alpha\lambda$	$48.4+1.17\alpha\lambda$	$51.8+1.17\alpha\lambda$	1.17α
200	$1.87\alpha\lambda$	$61.9+1.87\alpha\lambda$	$66.2+1.87\alpha\lambda$	$70.5+1.87\alpha\lambda$	$74.8+1.87\alpha\lambda$	1.87α
250	$3.5\alpha\lambda$	$79.1+3.5\alpha\lambda$	$84.3+3.5\alpha\lambda$	$89.4+3.5\alpha\lambda$	$94.6+3.5\alpha\lambda$	3.5α
320	$5.4\alpha\lambda$	$138.1+5.4\alpha\lambda$	$145+5.4\alpha\lambda$	$151.1+5.4\alpha\lambda$	$158+5.4\alpha\lambda$	5.4α
400	$8.4\alpha\lambda$	$246.1+8.4\alpha\lambda$	$254.8+8.4\alpha\lambda$	$263.4+8.4\alpha\lambda$	$272+8.4\alpha\lambda$	8.4α

Traction calculation of inclined bucket elevator is performed by the method of encirclement, the basic principle of which is to identify specific points of the track where the belt tension is changed. At this tension in the next $(i+1)$ point is equal to the sum of belt tension in this (i) point and the belt movement resistance in the area between these points:

$$S_{i+1} = S_i + W_{i,i+1}. \quad (8)$$

In case of drive drum rotation (Fig. 1) in clockwise order the minimum tension will be at the point 2 – S_2 . This tension in the belt during normal scooping satisfies the following condition:

$$S_2 = S_{\min} \geq 5q_w. \quad (9)$$

The belt tension force at the point 3 consists of tension force S_2 , drum resistance and resistance to scooping of cargo W_{2-3} :

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

$$S_3 = kS_2 + W_{2-3}, \quad (10)$$

where $k=1,08$ – coefficient of tension increase in the belt with buckets when bending around the drum.

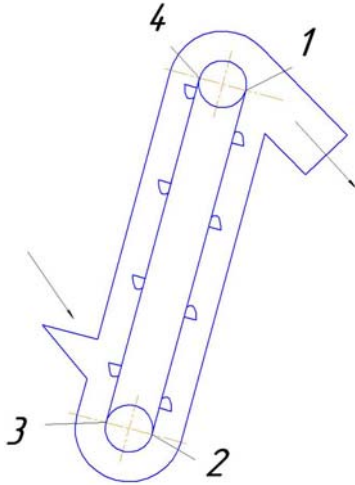


Fig. 1. Scheme of inclined bucket elevator

Resistance to material scooping is determined using the formula:

$$W_{2-3} = \frac{k_s q_w}{g}, \quad (11)$$

where k_s – is a coefficient of scooping (Nm/kg), which is determined by specific work expended for scooping of 1 kg of material. At the speed of buckets $v=1,0...1,25$ m/s $k_s=12,5...25$ Nm/kg for powdered and small pieced materials, and $k_s=20...40$ Nm/kg – for medium pieced material.

Thus, substituting formulas (8) and (11) to (10), we have:

$$S_3 = q_w \left(5,4 + \frac{k_s}{g} \right). \quad (12)$$

Choosing the value $k_s=25$ N m/kg (which meets all cargoes) we have:

$$S_3 = 7,95 q_w. \quad (13)$$

We assume that the belt with buckets at the track sections 3-4 and 1-2 (Fig. 1) is supported by direct roller supports.

The specific weight of moving parts of roller supports for loaded (section 3-4) and unloaded (section 1-2) strands is determined by the formulas:

$$q_{oo} = \frac{G'_r}{l'_r}. \quad (14)$$

$$q_{on} = \frac{G'_r}{l''_r}. \quad (15)$$

where G'_r – weight of rotating parts of the upper and lower rollers.

For further calculations the tables of estimated values of the distances between rollers of loaded strand (Tab. 11) and the characteristics and sizes of roller supports shown in the Table 12 will be used.

Ordinary roller supports of the strand 1-2 are set with the spacing l''_r , twice as high as l'_r . The dependence of the weight of ordinary roller supports on the belt width is presented in the Table 12.

To facilitate further studies, it is assumed that the cargo has a density in the range of $1 \dots 2$ t/m³. Using the formulas (14)-(15) let us present the values of specific weight of moving parts of roller supports for loaded and unloaded strands depending on the belt width and width of the bucket. Calculated values of the specific weight will be presented in the Table 13.

Table 11

The estimated value of distances between supports of loaded strand l'_r

Material density ρ , t/m ³	Distances between supports of loaded strand at the belt width, mm							
	400	500	650	800	1000	1200	1400...1600	1800...2000
1	1500	1500	1400	1400	1300	1300	1200	1100
1...2	1400	1400	1300	1300	1200	1200	1100	1100
more than 2	1300	1300	1200	1200	1100	1100	1100	900

Table 12

Weight of ordinary direct roller supports

Belt width B , mm	Weight, kg
400	6.0
500	7.5
650	10.5
800	18.5
1 000	22.0
1 200	25.0

Table 13

**The estimated values of the specific weight of moving parts of roller supports
for loaded and unloaded strands**

Specific weight of moving parts	Bucket width B_b , mm					
	320	400	500	650	800	1000
loaded strand q_{oo} , N/m	40	50	75	132	169	192
unloaded strand q_{on} , N/m	20	25	37.5	66	84.5	96

For clearness of further calculations at the buckets with width less than 320 mm, let us take the value of specific weight of moving parts of roller supports for loaded and unloaded strands branches $q_{oo} = 40$ N/m, $q_{on} = 20$ N/m, respectively. We also accept that working conditions of the elevator will be difficult; therefore, the resistance coefficient of the belt movement along the rollers in future will be equal to 0.03.

Traction forces at the points 1 and 4 are determined using the formulas:

$$\begin{aligned}
 S_4 &= S_{nb} = S_3 + W_{3-4} = \\
 &= 7,95q_w + (q_o + q_{oo})H \cdot c \cdot \operatorname{ctg} \beta + q_w H, \quad (16) \\
 S_1 &= S_{zb} = S_2 + W_{2-1} = \\
 &= 5q_w + (q_x + q_{on})H \cdot c \cdot \operatorname{ctg} \beta + q_x H, \quad (17)
 \end{aligned}$$

where H – lift height of cargo, m; β – inclination angle of elevator, degree; $c = 0,03$ – resistance coefficient of the belt movement along the rollers.

The dependence of traction forces values at the point 4 calculated by the formula (16) on the value

of design productivity, bucket type and amount of insert plies are summarized in the Tables 14-15.

The dependence of the values of tension force at the point 1 calculated by the formula (17) on the value of design productivity, bucket type and amount of insert plies of the belt are summarized in the Tables 16-17.

Tractive effort accounting rotational resistance of the drive drum is determined using the formula:

$$F_o = S_4 - S_1 + (k' - 1)(S_4 + S_1), \quad (18)$$

where $k' = 1,08$ – is a resistance coefficient of drive drum rotation.

After algebraic transformations in the formula (18) we have:

$$F_o = 1,08S_4 - 0,92S_1. \quad (19)$$

The values of tractive effort taking into account the drum rotation resistance depending on the values of design performance, bucket type (deep and shallow) and the number of insert plies of the belt are summarized in the Tables 18-19.

Table 14

Traction force at the point 4 at deep buckets

Bucket width B_b , mm	Traction force at the belt with $i = 3$ S_4 , N	Traction force at the belt with $i = 4$ S_4 , N	Traction force at the belt with $i = 5$ S_4 , N	Traction force at the belt with $i = 6$ S_4 , N	Elevator productiv- ity, t/h
100	$37H + \alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(77 + \alpha\lambda) cHctg\beta$	$39.2H + \alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(79.2 + \alpha\lambda) cHctg\beta$	$41.3H + \alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(81.3 + \alpha\lambda) cHctg\beta$	$43.5H + \alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(83.5 + \alpha\lambda) cHctg\beta$	α
125	$36.4H + 1.3\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(76.4 + 1.3\alpha\lambda) cHctg\beta$	$39H + 1.3\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(79 + 1.3\alpha\lambda) cHctg\beta$	$41.6H + 1.3\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(81.6 + 1.3\alpha\lambda) cHctg\beta$	$44.2H + 1.3\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(84.2 + 1.3\alpha\lambda) cHctg\beta$	1.3α
160	$47.7H + 2\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(87.7 + 2\alpha\lambda) cHctg\beta$	$51.1H + 2\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(91.1 + 2\alpha\lambda) cHctg\beta$	$54.6H + 2\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(94.6 + 2\alpha\lambda) cHctg\beta$	$58H + 2\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(98 + 2\alpha\lambda) cHctg\beta$	2α
200	$74.1H + 3.24\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(114.1 + 3.24\alpha\lambda) cHctg\beta$	$78.4H + 3.24\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(118.4 + 3.24\alpha\lambda) cHctg\beta$	$82.7H + 3.24\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(122.7 + 3.24\alpha\lambda) cHctg\beta$	$87H + 3.24\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(127 + 3.24\alpha\lambda) cHctg\beta$	3.24α
250	$103.6H + 5\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(143.6 + 5\alpha\lambda) cHctg\beta$	$108.8H + 5\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(148.8 + 5\alpha\lambda) cHctg\beta$	$113.9H + 5\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(153.9 + 5\alpha\lambda) cHctg\beta$	$119.1H + 5\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(159.1 + 5\alpha\lambda) cHctg\beta$	5α
320	$138.1H + 8\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(178.1 + 8\alpha\lambda) cHctg\beta$	$145H + 8\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(185 + 8\alpha\lambda) cHctg\beta$	$151.1H + 8\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(191.1 + 8\alpha\lambda) cHctg\beta$	$158H + 8\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(198 + 8\alpha\lambda) cHctg\beta$	8α
400	$265H + 12.6\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(315.7 + 12.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	$274.4H + 12.6\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(324.4 + 12.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	$283H + 12.6\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(333 + 12.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	$291.6H + 12.6\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(341.6 + 12.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	12.6α
500	$345.2H + 19\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(420.2 + 19\alpha\lambda) cHctg\beta$	$356.4H + 19\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(431.4 + 19\alpha\lambda) cHctg\beta$	$367.6H + 19\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(442.6 + 19\alpha\lambda) cHctg\beta$	$378.8H + 19\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(453.8 + 19\alpha\lambda) cHctg\beta$	19α
650	$438H + 28.6\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(570 + 28.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	$451.8H + 28.6\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(583.8 + 28.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	$465H + 28.6\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(597.6 + 28.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	$479.4H + 28.6\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(611.4 + 28.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	28.6α
800	$443.3H + 40\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(612.3 + 40\alpha\lambda) cHctg\beta$	$460.5H + 40\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(629.5 + 40\alpha\lambda) cHctg\beta$	$477.8H + 40\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(646.8 + 40\alpha\lambda) cHctg\beta$	$495H + 40\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(664 + 40\alpha\lambda) cHctg\beta$	40α
1 000	$524H + 56.3\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(716.6 + 56.3\alpha\lambda) cHctg\beta$	$545.3H + 56.3\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(737.3 + 56.3\alpha\lambda) cHctg\beta$	$566H + 56.3\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(758 + 56.3\alpha\lambda) cHctg\beta$	$586.7H + 56.3\alpha\lambda (7.95 + H) +$ $+(778.7 + 56.3\alpha\lambda) cHctg\beta$	56.25α

Table 15

Traction force at the point 4 at shallow buckets

Bucket width B_b , mm	Traction force at the belt with $i = 3$ S_4 , N	Traction force at the belt with $i = 4$ S_4 , N	Traction force at the belt with $i = 5$ S_4 , N	Traction force at the belt with $i = 6$ S_4 , N	Elevator productivity, t/h
100	$32.1H+0.5a\lambda(7.95+H) + (72.1+0.5a\lambda)cHctg\beta$	$34.3H+0.5a\lambda(7.95+H) + (74.3+0.5a\lambda)cHctg\beta$	$36.4H+0.5a\lambda(7.95+H) + (76.4+0.5a\lambda)cHctg\beta$	$38.6H+0.5a\lambda(7.95+H) + (78.6+0.5a\lambda)cHctg\beta$	$0.5a$
125	$33.4H+0.66a\lambda(7.95+H) + (73.4+0.66a\lambda)cHctg\beta$	$36H+0.66a\lambda(7.95+H) + (76+0.66a\lambda)cHctg\beta$	$37.8H+0.66a\lambda(7.95+H) + (77.8+0.66a\lambda)cHctg\beta$	$40.4H+0.66a\lambda(7.95+H) + (80.4+0.66a\lambda)cHctg\beta$	$0.66a$
160	$41.5H+1.17a\lambda(7.95+H) + (81.5+1.17a\lambda)cHctg\beta$	$44.9H+1.17a\lambda(7.95+H) + (84.9+1.17a\lambda)cHctg\beta$	$48.4H+1.17a\lambda(7.95+H) + (88.4+1.17a\lambda)cHctg\beta$	$51.8H+1.17a\lambda(7.95+H) + (91.8+1.17a\lambda)cHctg\beta$	$1.17a$
200	$61.9H+1.87a\lambda(7.95+H) + (101.9+1.87a\lambda)cHctg\beta$	$66.2H+1.87a\lambda(7.95+H) + (106.2+1.87a\lambda)cHctg\beta$	$70.5H+1.87a\lambda(7.95+H) + (110.5+1.87a\lambda)cHctg\beta$	$74.8H+1.87a\lambda(7.95+H) + (114.8+1.87a\lambda)cHctg\beta$	$1.87a$
250	$79.1H+3.5a\lambda(7.95+H) + (119.1+3.5a\lambda)cHctg\beta$	$84.3H+3.5a\lambda(7.95+H) + (124.3+3.5a\lambda)cHctg\beta$	$89.4H+3.5a\lambda(7.95+H) + (139.4+3.5a\lambda)cHctg\beta$	$94.6H+3.5a\lambda(7.95+H) + (134.6+3.5a\lambda)cHctg\beta$	$3.5a$
320	$138.1H+5.4a\lambda(7.95+H) + (178.1+5.4a\lambda)cHctg\beta$	$145H+5.4a\lambda(7.95+H) + (185+5.4a\lambda)cHctg\beta$	$151.1H+5.4a\lambda(7.95+H) + (191.1+5.4a\lambda)cHctg\beta$	$158H+5.4a\lambda(7.95+H) + (198+5.4a\lambda)cHctg\beta$	$5.4a$
400	$246.1H+8.4a\lambda(7.95+H) + (296.1+8.4a\lambda)cHctg\beta$	$254.8H+8.4a\lambda(7.95+H) + (304.8+8.4a\lambda)cHctg\beta$	$263.4H+8.4a\lambda(7.95+H) + (313.4+8.4a\lambda)cHctg\beta$	$272H+8.4a\lambda(7.95+H) + (322+8.4a\lambda)cHctg\beta$	$8.4a$

Table 16

Traction force at the point 1 at deep buckets

Bucket width B_b , mm	Traction force at the belt with $i = 3$ S_1 , N	Traction force at the belt with $i = 4$ S_1 , N	Traction force at the belt with $i = 5$ S_1 , N	Traction force at the belt with $i = 6$ S_1 , N	Elevator productivity, t/h
1	2	3	4	5	6
100	$37H+5a\lambda + 57cHctg\beta$	$39.2H+5a\lambda + 59.2cHctg\beta$	$41.3H+5a\lambda + 61.3cHctg\beta$	$43.5H+5a\lambda + 63.5cHctg\beta$	a
125	$36.4H+6.5a\lambda + 56.4cHctg\beta$	$39H+6.5a\lambda + 59cHctg\beta$	$41.6H+6.5a\lambda + 61.6cHctg\beta$	$44.2H+6.5a\lambda + 64.2cHctg\beta$	$1.3a$
160	$47.7H+10a\lambda + 67.7cHctg\beta$	$51.1H+10a\lambda + 71.1cHctg\beta$	$54.6H+10a\lambda + 74.6cHctg\beta$	$58H+10a\lambda + 78cHctg\beta$	$2a$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

End of table 16

Bucket width B_b , mm	Traction force at the belt with $i = 3$ S_1 , N	Traction force at the belt with $i = 4$ S_1 , N	Traction force at the belt with $i = 5$ S_1 , N	Traction force at the belt with $i = 6$ S_1 , N	Elevator productivity, t/h
1	2	3	4	5	6
200	$74.1H+16.2\alpha\lambda+94.1cHctg\beta$	$78.4H+16.2\alpha\lambda+98.4cHctg\beta$	$82.7H+16.2\alpha\lambda+102.7cHctg\beta$	$87H+16.2\alpha\lambda+97cHctg\beta$	3.24α
250	$103.6H+25\alpha\lambda+123.6cHctg\beta$	$108.8H+25\alpha\lambda+128.8cHctg\beta$	$113.9H+25\alpha\lambda+133.9cHctg\beta$	$119.1H+25\alpha\lambda+139.1cHctg\beta$	5α
320	$138.1H+40\alpha\lambda+158.1cHctg\beta$	$145H+40\alpha\lambda+165cHctg\beta$	$151.1H+40\alpha\lambda+171.1cHctg\beta$	$158H+40\alpha\lambda+178cHctg\beta$	8α

Table 17

Traction force at the point 1 at shallow buckets

Bucket width B_b , mm	Tractive effort at the belt with $i = 3$ S_1 , N	Tractive effort at the belt with $i = 4$ S_1 , N	Tractive effort at the belt with $i = 5$ S_1 , N	Tractive effort at the belt with $i = 6$ S_1 , N	Elevator productivity, t/h
100	$32.1H+2.5\alpha\lambda+52.1cHctg\beta$	$34.3H+2.5\alpha\lambda+54.3cHctg\beta$	$36.4H+2.5\alpha\lambda+56.4cHctg\beta$	$38.6H+2.5\alpha\lambda+58.6cHctg\beta$	0.5α
125	$33.4H+3.3\alpha\lambda+53.4cHctg\beta$	$36H+3.3\alpha\lambda+56cHctg\beta$	$37.8H+3.3\alpha\lambda+57.8cHctg\beta$	$40.4H+3.3\alpha\lambda+60.4cHctg\beta$	0.66α
160	$41.5H+5.85\alpha\lambda+61.5cHctg\beta$	$44.9H+5.85\alpha\lambda+64.9cHctg\beta$	$48.4H+5.85\alpha\lambda+68.4cHctg\beta$	$51.8H+5.85\alpha\lambda+71.8cHctg\beta$	1.17α
200	$61.9H+9.35\alpha\lambda+81.9cHctg\beta$	$66.2H+9.35\alpha\lambda+86.2cHctg\beta$	$70.5H+9.35\alpha\lambda+90.5cHctg\beta$	$74.8H+9.35\alpha\lambda+94.8cHctg\beta$	1.87α
250	$79.1H+17.5\alpha\lambda+99.1cHctg\beta$	$84.3H+17.5\alpha\lambda+104.3cHctg\beta$	$89.4H+17.5\alpha\lambda+109.4cHctg\beta$	$94.6H+17.5\alpha\lambda+114.6cHctg\beta$	3.5α
320	$138.1H+27\alpha\lambda+158.1cHctg\beta$	$145H+27\alpha\lambda+165cHctg\beta$	$151.1H+27\alpha\lambda+171.1cHctg\beta$	$158H+27\alpha\lambda+178cHctg\beta$	5.4α
400	$246.1H+42\alpha\lambda+271.1cHctg\beta$	$254.8H+42\alpha\lambda+279.8cHctg\beta$	$263.4H+42\alpha\lambda+288.4cHctg\beta$	$272H+42\alpha\lambda+297cHctg\beta$	8.4α

Table 18

Tractive effort on the drive drum at deep buckets

Bucket width B_b , mm	Tractive effort at the belt with $i = 3$ F , N	Tractive effort at the belt with $i = 4$ F , N	Tractive effort at the belt with $i = 5$ F , N	Tractive effort at the belt with $i = 6$ F , N	Elevator productivity, t/h
1	2	3	4	5	6
100	$5.9H+\alpha\lambda(4+1.08H)+ (30.7+1.08\alpha\lambda)cHctg\beta$	$6.3H+\alpha\lambda(4+1.08H)+ (31.1+1.08\alpha\lambda)cHctg\beta$	$6.6H+\alpha\lambda(4+1.08H)+ (31.4+1.08\alpha\lambda)cHctg\beta$	$7H+\alpha\lambda(4+1.08H)+ (31.8+1.08\alpha\lambda)cHctg\beta$	α

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

End of table 18

Bucket width B_b , mm	Tractive effort at the belt with $i = 3$ F , N	Tractive effort at the belt with $i = 4$ F , N	Tractive effort at the belt with $i = 5$ F , N	Tractive effort at the belt with $i = 6$ F , N	Elevator produc- tivity, t/h
1	2	3	4	5	6
125	$5.82H+1.3a\lambda(4+1.08H)$ $+(30.6+1.4a\lambda)$ $cHctg\beta$	$6.2H+1.3a\lambda$ $(4+1.08H)$ $+(31+1.4a\lambda)$ $cHctg\beta$	$6.7H+1.3a\lambda$ $(4+1.08H)$ $+(31.5+1.4a\lambda)$ $cHctg\beta$	$7.1H+1.3a\lambda$ $(4+1.08H)+$ $+(31.9+1.4a\lambda)$ $cHctg\beta$	$1.3a$
160	$7.63H+2a\lambda$ $(4+1.08H)$ $+(32.4+2.16a\lambda)$ $cHctg\beta$	$8.2H+2a\lambda$ $(4+1.08H)+$ $+(33+2.16a\lambda)$ $cHctg\beta$	$8.7H+2a\lambda$ $(4+1.08H)+$ $+(33.5+2.16a\lambda)$ $cHctg\beta$	$9.3H+2a\lambda$ $(4+1.08H)+$ $+(34.1+2.16a\lambda)$ $cHctg\beta$	$2a$
200	$11.9H+3.24a\lambda(4+1.08H)$ $+(36.7+3.5a\lambda)$ $cHctg\beta$	$12.5H+3.24a\lambda(4+1.08H)$ $+(37.3+3.5a\lambda)$ $cHctg\beta$	$13.2H+3.24a\lambda(4+1.08H)$ $+(38+3.5a\lambda)$ $cHctg\beta$	$13.9H+3.24a\lambda$ $(4+1.08H)$ $+(38.7+3.5a\lambda)$ $cHctg\beta$	$3.24a$
250	$16.6H+5a\lambda$ $(4+1.08H)+$ $+(41.4+5.4a\lambda)$ $cHctg\beta$	$17.4H+5a\lambda$ $(4+1.08H)+$ $+(42.2+5.4a\lambda)$ $cHctg\beta$	$18.2H+5a\lambda$ $(4+1.08H)+$ $+(43+5.4a\lambda)$ $cHctg\beta$	$19.1H+5a\lambda$ $(4+1.08H)+$ $+(43.9+5.4a\lambda)$ $cHctg\beta$	$5a$
320	$22.1H+8a\lambda$ $(4+1.08H)+$ $+(46.9+8.64a\lambda)$ $cHctg\beta$	$23.2H+8a\lambda$ $(4+1.08H)+$ $+(48+8.64a\lambda)$ $cHctg\beta$	$24.2H+8a\lambda$ $(4+1.08H)+$ $+(49+8.64a\lambda)$ $cHctg\beta$	$25.3H+8a\lambda$ $(4+1.08H)+$ $+(50.1+8.64a\lambda)$ $cHctg\beta$	$8a$
400	$42.5H+12.6a\lambda(4+1.08H)$ $+(73.5+13.6a\lambda)$ $cHctg\beta$	$43.9H+12.6a\lambda(4+1.08H)$ $+(74.9+13.6a\lambda)$ $cHctg\beta$	$45.3H+12.6a\lambda(4+1.08H)$ $+(76.3+13.6a\lambda)$ $cHctg\beta$	$46.7H+12.6a\lambda$ $(4+1.08H)$ $+(77.7+13.6a\lambda)$ $cHctg\beta$	$12.6a$
500	$55.2H+19a\lambda$ $(4+1.08H)+$ $+(101.7+20.5a\lambda)$ $cHctg\beta$	$57H+19a\lambda$ $(4+1.08H)+$ $+(103.5+20.5a\lambda)$ $cHctg\beta$	$58.8H+19a\lambda$ $(4+1.08H)$ $+(105.3+20.5a\lambda)$ $cHctg\beta$	$60.6H+19a\lambda$ $(4+1.08H)$ $+(107.1+20.5a\lambda)$ $cHctg\beta$	$19a$
650	$70.1H+28.6a\lambda(4+1.08H)$ $+(167.8+30.9a\lambda)$ $cHctg\beta$	$72.3H+28.6a\lambda(4+1.08H)$ $+(170+30.9a\lambda)$ $cHctg\beta$	$74.5H+28.6a\lambda(4+1.08H)$ $+(172.2+30.9a\lambda)$ $cHctg\beta$	$76.7H+28.6a\lambda$ $(4+1.08H)$ $+(174.4+30.9a\lambda)$ $cHctg\beta$	$28.6a$
800	$70.9H+40a\lambda$ $(4+1.08H)$ $+(196+43.2a\lambda)$ $cHctg\beta$	$73.7H+40a\lambda$ $(4+1.08H)$ $+(198.8+43.2a\lambda)$ $cHctg\beta$	$76.4H+40a\lambda$ $(4+1.08H)$ $+(201.5+43.2a\lambda)$ $cHctg\beta$	$79.2H+40a\lambda$ $(4+1.08H)$ $+(204.3+43.2a\lambda)$ $cHctg\beta$	$40a$
1000	$83.9H+56.3a\lambda(4+1.08H)$ $+(202.9+60.8a\lambda)$ $cHctg\beta$	$87.2H+56.3a\lambda(4+1.08H)$ $+(206.2+60.8a\lambda)$ $cHctg\beta$	$90.6H+56.3a\lambda(4+1.08H)$ $+(209.6+60.8a\lambda)$ $cHctg\beta$	$93.9H+56.3a\lambda$ $(4+1.08H)$ $+(212.9+60.8a\lambda)$ $cHctg\beta$	$56.25a$

Table 19

Traction effort on the drive drum at shallow buckets

Bucket width B_b , mm	Traction effort at the belt with $i = 3$ F , N $i = 3$ F , N	Traction effort at the belt with $i = 3$ F , N $i = 4$ F , N	Traction effort at the belt with $i = 3$ F , N $i = 5$ F , N	Traction effort at the belt with $i = 3$ F , N $i = 6$ F , N	Elevator productivity, t/h
100	$5.1H + \alpha\lambda(4 + 1.08H) + (30 + 1.08\alpha\lambda) cHctg\beta$	$5.5H + \alpha\lambda(4 + 1.08H) + (30.3 + 1.08\alpha\lambda) cHctg\beta$	$5.8H + \alpha\lambda(4 + 1.08H) + (30.6 + 1.08\alpha\lambda) cHctg\beta$	$6.2H + \alpha\lambda(4 + 1.08H) + (31 + 1.08\alpha\lambda) cHctg\beta$	0.5α
125	$5.3H + 1.3\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (30.1 + 1.4\alpha\lambda) cHctg\beta$	$5.8H + 1.3\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (30.6 + 1.4\alpha\lambda) cHctg\beta$	$6.0H + 1.3\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (30.8 + 1.4\alpha\lambda) cHctg\beta$	$6.5H + 1.3\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (31.3 + 1.4\alpha\lambda) cHctg\beta$	0.66α
160	$6.6H + 2\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (31.4 + 2.16\alpha\lambda) cHctg\beta$	$7.2H + 2\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (32 + 2.16\alpha\lambda) cHctg\beta$	$7.7H + 2\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (32.5 + 2.16\alpha\lambda) cHctg\beta$	$8.3H + 2\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (33.1 + 2.16\alpha\lambda) cHctg\beta$	1.17α
200	$9.9H + 3.24\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (34.7 + 3.5\alpha\lambda) cHctg\beta$	$10.6H + 3.24\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (35.4 + 3.5\alpha\lambda) cHctg\beta$	$11.3H + 3.24\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (36.1 + 3.5\alpha\lambda) cHctg\beta$	$12H + 3.24\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (36.8 + 3.5\alpha\lambda) cHctg\beta$	1.87α
250	$12.7H + 5\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (37.5 + 5.4\alpha\lambda) cHctg\beta$	$13.5H + 5\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (38.3 + 5.4\alpha\lambda) cHctg\beta$	$14.3H + 5\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (39.1 + 5.4\alpha\lambda) cHctg\beta$	$15.1H + 5\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (39.9 + 5.4\alpha\lambda) cHctg\beta$	3.5α
320	$22.1H + 8\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (46.9 + 8.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	$23.2H + 8\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (48 + 8.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	$24.2H + 8\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (49 + 8.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	$25.3H + 8\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (50.1 + 8.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	5.4α
400	$39.4H + 12.6\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (70.4 + 13.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	$40.8H + 12.6\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (71.8 + 13.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	$42.1H + 12.6\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (73.1 + 13.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	$43.5H + 12.6\alpha\lambda(4 + 1.08H) + (74.5 + 13.6\alpha\lambda) cHctg\beta$	8.4α

Estimated kinematic scheme of the elevator's drive is shown in the Fig. 2.

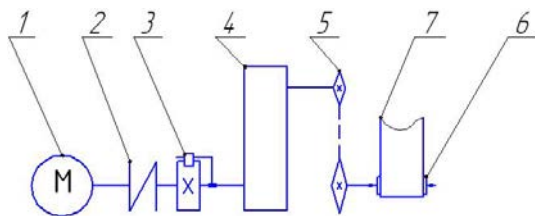


Fig. 2. Scheme of bucket elevator drive:
1 – engine; 2 – elastic clutch; 3 – locking device (ratchet); 4 – reducing gear; 5 – chain transmission; 6 – drive drum; 7 – belt

Efficiency coefficient of the drive is determined by the formula:

$$\eta = \eta_g \eta_{ch} \eta_c, \quad (20)$$

where $\eta_g = 0.96$ – efficiency coefficient of reducing gear; $\eta_{ch} = 0.95$ – efficiency coefficient of chain transmission; $\eta_c = 0.98$ – efficiency coefficient of clutch.

Thus,

$$\eta = \eta_g \eta_{ch} \eta_c = 0.96 \cdot 0.95 \cdot 0.98 = 0.89.$$

Engine power is determined by the formula:

$$P = \frac{F_0 v}{1000 \eta}. \quad (21)$$

Calculated power of the engine is determined by the formula:

$$P_g = n_u P, \quad (22)$$

where $n_u = 1, 1.1, 2$ – is the safety factor.

Since $\eta = 0.89$ and $n_u = 1.1$ then using the formulas (21) and (22) we obtain the following:

$$P_g = \frac{F_0 v}{1000 \eta} = 0.001 F_0 v. \quad (23)$$

Dependence of the calculated engine power on the values of design performance, bucket type, number of insert plies of the belt, speed of the belt movement and lifting height of cargo calculated using the formula (23) taking into account data from the Tables 18-19 are summarized in the Tables 20-21:

Table 20

Calculated power of engine at deep buckets

Bucket width B_b , mm	Engine power at the belt with $i = 3$ P, W	Engine power at the belt with $i = 4$ P, W	Engine power at the belt with $i = 5$ P, W	Engine power at the belt with $i = 6$ P, W	Elevator productiv- ity, t/h
1	2	3	4	5	6
100	$v [5.9H + a\lambda (4 + 1.08H) + (30.7 + 1.08a\lambda)cHctg\beta]$	$v [6.3H + a\lambda (4 + 1.08H) + (31.1 + 1.08a\lambda)cHctg\beta]$	$v [6.6H + a\lambda (4 + 1.08H) + (31.4 + 1.08a\lambda)cHctg\beta]$	$v [7H + a\lambda (4 + 1.08H) + (31.8 + 1.08a\lambda)cHctg\beta]$	α
125	$[5.82H + 1.3a\lambda(4 + 1.08H) + (30.6 + 1.4a\lambda)cHctg\beta]v$	$[6.2H + 1.3a\lambda(4 + 1.08H) + (31 + 1.4a\lambda)cHctg\beta]v$	$[6.7H + 1.3a\lambda(4 + 1.08H) + (31.5 + 1.4a\lambda)cHctg\beta]v$	$[7.1H + 1.3a\lambda(4 + 1.08H) + (31.9 + 1.4a\lambda)cHctg\beta]v$	1.3α
160	$v [7.63H + 2a\lambda (4 + 1.08H) + (32.4 + 2.16a\lambda)cHctg\beta]$	$[8.2H + 2a\lambda (4 + 1.08H) + (33 + 2.16a\lambda)cHctg\beta]v$	$[8.7H + 2a\lambda (4 + 1.08H) + (33.5 + 2.16a\lambda)cHctg\beta]v$	$v [9.3H + 2a\lambda (4 + 1.08H) + (34.1 + 2.16a\lambda)cHctg\beta]$	2α
200	$[11.9H + 3.2a\lambda(4 + 1.08H) + (36.7 + 3.5a\lambda)cHctg\beta]v$	$[12.5H + 3.2a\lambda(4 + 1.08H) + (37.3 + 3.5a\lambda)cHctg\beta]v$	$[13.2H + 3.2a\lambda(4 + 1.08H) + (38 + 3.5a\lambda)cHctg\beta]v$	$[13.9H + 3.2a\lambda(4 + 1.08H) + (38.7 + 3.5a\lambda)cHctg\beta]v$	3.24α
250	$[16.6H + 5a\lambda (4 + 1.08H) + (41.4 + 5.4a\lambda)cHctg\beta]v$	$[17.4H + 5a\lambda (4 + 1.08H) + (42.2 + 5.4a\lambda)cHctg\beta]v$	$[18.2H + 5a\lambda(4 + 1.08H) + (43 + 5.4a\lambda)cHctg\beta]v$	$[19.1H + 5a\lambda (4 + 1.08H) + (43.9 + 5.4a\lambda)cHctg\beta]v$	5α
320	$[22.1H + 8a\lambda (4 + 1.08H) + (46.9 + 8.64a\lambda)cHctg\beta]v$	$[23.2H + 8a\lambda (4 + 1.08H) + (48 + 8.64a\lambda)cHctg\beta]v$	$[24.2H + 8a\lambda (4 + 1.08H) + (49 + 8.64a\lambda)cHctg\beta]v$	$[25.3H + 8a\lambda (4 + 1.08H) + (50.1 + 8.64a\lambda)cHctg\beta]v$	8α
400	$[42.5H + 12.6a\lambda(4 + 1.08H) + (73.5 + 13.6a\lambda)cHctg\beta]v$	$[43.9H + 12.6a\lambda(4 + 1.08H) + (74.9 + 13.6a\lambda)cHctg\beta]v$	$[45.3H + 12.6a\lambda(4 + 1.08H) + (76.3 + 13.6a\lambda)cHctg\beta]v$	$[46.7H + 12.6a\lambda(4 + 1.08H) + (77.7 + 13.6a\lambda)cHctg\beta]v$	12.6α
500	$[55.2H + 19a\lambda (4 + 1.08H) + (101.7 + 20.5a\lambda)cHctg\beta]v$	$v [57H + 19a\lambda (4 + 1.08H) + (103.5 + 20.5a\lambda)cHctg\beta]$	$v [58.8H + 19a\lambda (4 + 1.08H) + (105.3 + 20.5a\lambda)cHctg\beta]$	$v [60.6H + 19a\lambda (4 + 1.08H) + (107.1 + 20.5a\lambda)cHctg\beta]$	19α
650	$[70.1H + 28.6a\lambda(4 + 1.08H) + (167.8 + 30.9a\lambda)cHctg\beta]v$	$[72.3H + 28.6a\lambda(4 + 1.08H) + (170 + 30.9a\lambda)cHctg\beta]v$	$[74.5H + 28.6a\lambda(4 + 1.08H) + (172.2 + 30.9a\lambda)cHctg\beta]v$	$[76.7H + 28.6a\lambda(4 + 1.08H) + (174.4 + 30.9a\lambda)cHctg\beta]v$	28.6α
800	$[70.9H + 40a\lambda (4 + 1.08H) + (196 + 43.2a\lambda)cHctg\beta]v$	$[73.7H + 40a\lambda (4 + 1.08H) + (198.8 + 43.2a\lambda)cHctg\beta]v$	$[76.4H + 40a\lambda (4 + 1.08H) + (201.5 + 43.2a\lambda)cHctg\beta]v$	$[79.2H + 40a\lambda (4 + 1.08H) + (204.3 + 43.2a\lambda)cHctg\beta]v$	40α

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

End of table 20

Bucket width B_b , mm	Engine power at the belt with $i = 3$ P , W	Engine power at the belt with $i = 4$ P , W	Engine power at the belt with $i = 5$ P , W	Engine power at the belt with $i = 6$ P , W	Elevator productiv- ity, t/h
1000	$[83,9H+56,3a\lambda(4+1,08H)+$ $+(202,9+60,8a\lambda)cH$ $\text{ctg}\beta]v$	$[87,2H+56,3a\lambda(4+1,08H)+$ $+(206,2+60,8a\lambda)cHc$ $\text{tg}\beta]v$	$[90,6H+56,3a\lambda(4+1,08H)+$ $+(209,6+60,8a\lambda)cHc$ $\text{tg}\beta]v$	$[93,9H+56,3a\lambda(4+1,08H)+$ $+(212,9+60,8a\lambda)cHc$ $\text{tg}\beta]v$	$56,25a$

Table 21

Calculated power of engine at shallow buckets

Bucket width B_b , mm	Engine power at the belt with $i = 3$ P , W	Engine power at the belt with $i = 4$ P , W	Engine power at the belt with $i = 5$ P , W	Engine power at the belt with $i = 6$ P , W	Elevator productiv- ity, t/h
100	$[5,1H+a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(30+1,08a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$v[5,5H+a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(30,3+1,08a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]$	$v[5,8H+a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(30,6+1,08a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]$	$v[6,2H+a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(31+1,08a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]$	$0,5a$
125	$[5,3H+1,3a\lambda(4+1,08H)+$ $+(30,1+1,4a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[5,8H+1,3a\lambda(4+1,08H)+$ $+(30,6+1,4a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[6,0H+1,3a\lambda(4+1,08H)+$ $+(30,8+1,4a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[6,5H+1,3a\lambda(4+1,08H)+$ $+(31,3+1,4a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$0,66a$
160	$[6,6H+2a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(31,4+2,16a\lambda)cHc$ $\text{tg}\beta]v$	$[7,2H+2a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(32+2,16a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[7,7H+2a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(32,5+2,16a\lambda)cHc$ $\text{tg}\beta]v$	$[8,3H+2a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(33,1+2,16a\lambda)cHc$ $\text{tg}\beta]v$	$1,17a$
200	$[9,9H+3,24a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(34,7+3,5a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[10,6H+3,2a\lambda(4+1,08H)+$ $+(35,4+3,5a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[11,3H+3,2a\lambda(4+1,08H)+$ $+(36,1+3,5a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[12H+3,24a\lambda(4+1,08H)+$ $+(36,8+3,5a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$1,87a$
250	$[12,7H+5a\lambda(4+1,08H)+$ $+(37,5+5,4a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[13,5H+5a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(38,3+5,4a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[14,3H+5a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(39,1+5,4a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[15,1H+5a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(39,9+5,4a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$3,5a$
320	$[22,1H+8a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(46,9+8,6a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[23,2H+8a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(48+8,6a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[24,2H+8a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(49+8,6a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[25,3H+8a\lambda$ $(4+1,08H)+$ $+(50,1+8,6a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$5,4a$
400	$[39,4H+12,6a\lambda(4+1,08H)+$ $+(70,4+13,6a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[40,8H+12,6a\lambda(4+1,08H)+$ $+(71,8+13,6a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[42,1H+12,6a\lambda(4+1,08H)+$ $+(73,1+13,6a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$[43,5H+12,6a\lambda(4+1,08H)+$ $+(74,5+13,6a\lambda)$ $cH\text{ctg}\beta]v$	$8,4a$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Findings

Let us analyze the influence of design parameters of inclined bucket elevator for transportation of fine coal on the power of required drive. Taking into account the physical and mechanical properties of fine coal according to the recommendations presented in the work [9] it was selected the belt elevator with spaced deep buckets and centrifugal discharge. The speed of belt movement is $v = 1,6$ m/s; fill factor of the bucket $\nu = 1,6$; t/m^3 – density of fine coal; lift height of the cargo $H = 10$ m; inclination angle of elevator to the horizontal $\beta = 75^\circ$.

Under these conditions the coefficient are:

$$\alpha = 3,6\nu\rho\psi = 3,6 \cdot 1,6 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 4,61 \text{ (t m/l h)};$$

$$\alpha\lambda = 3,6\nu\rho\psi \frac{g}{3,6\nu} = \rho\psi g =$$

$$= 1,0 \cdot 0,8 \cdot 9,8 = 7,84. \text{ (N/m)}$$

At this the dependence of calculated power of electric engine of the elevator's bucket on the design performance is given in the Table 22.

Taking into account standard values of power of three-phase asynchronous squirrel cage motors of 4A series with synchronous frequency of

rotation 1000 rev/min for the drive of inclined elevator for transportation of fine coal it was compiled the table of correspondence of design performance and the required engine power.

Analyzing results of calculations presented in the Table 23 it can be concluded that the dependence of elevator drive power on its design performance (at fixed lift height, type of cargo, the angle of inclination to horizontal) in general is a piecewise constant monotonically increasing function. At this the productivity values given in the last column of the Table 23 should be considered as such, in which the power value varies and is equal to the appropriate value given in the second column of the Table 23. But to the value of 4.61 t/h the power is 0.75 kW due to the minimum of such power in the engines of such class. According to calculations it was plotted the dependence of inclined elevator drive for fine coal transportation on the value of design productivity (Fig. 3).

To determine the graphic dependence of elevator drive power on its inclination angle we take the initial data: transported material – fine coal; productivity $Pr = 20$ t/h lift height $H = 10$ m; speed of the belt movement $v = 1,6$ m/sec.

Table 22

Calculated power of the engine at deep buckets

Bucket width B_b , mm	Engine power at the belt with $i = 3$ P , W	Engine power at the belt with $i = 4$ P , W	Engine power at the belt with $i = 5$ P , W	Engine power at the belt with $i = 6$ P , W	Elevator productiv- ity, t/h
100	520	533	543	555	4.61
125	614	627	651	670	6
160	899	918	934	953	9.22
200	1438	1457	1480	1502	14.9
250	2158	2184	2210	2239	23.1
320	3306	3341	3373	3409	36.9
400	5452.5	5493	5538	5588	58.1
500	7935	7988	8045	8109	87.6
650	11533	11603	11673	11746	131.8
800	15251	15341	15430	15519	184.4
1000	20939	21039	21144	21261	259.3

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Taking into account the fact that $\alpha = 4,61 \text{ t t m/l h}$ and $Pr = 20 \text{ t/h}$ for calculation of drive power the dependency in the 5th line and first column will be used (Tab. 20).

Substituting the initial data for calculation into resulting dependence we obtain:

$$P = 76,3 \cdot \text{ctg}\beta + 1751,2. \quad (24)$$

Graphic dependence of value of elevator drive power when transporting fine coal with design productivity $Pr = 20 \text{ t/h}$ on the angle of its inclination within $\beta = \pi/3 \dots \pi/2$ is presented in the Fig. 4.

Table 23

Engine power at shallow buckets

Bucket width B_b , mm	Engine power P , kW	Engine type	Elevator productivity, t/h
100	0.75	4A80A6Y3	4.61
125	0.75	4A80A6Y3	6
160	1.1	4A80B6Y3	9.22
200	1.5	4A90L6Y3	14.9
250	2.2	4A100L6Y3	23.1
320	4.0	4A112MB6Y3	36.9
400	5.5	4A132S6Y3	58.1
500	11.0	4A160S6Y3	87.6
650	15.0	4A160M6Y3	131.8
800	18.5	4A180M6Y3	184.4
1000	30	4A200M6Y3	259.3

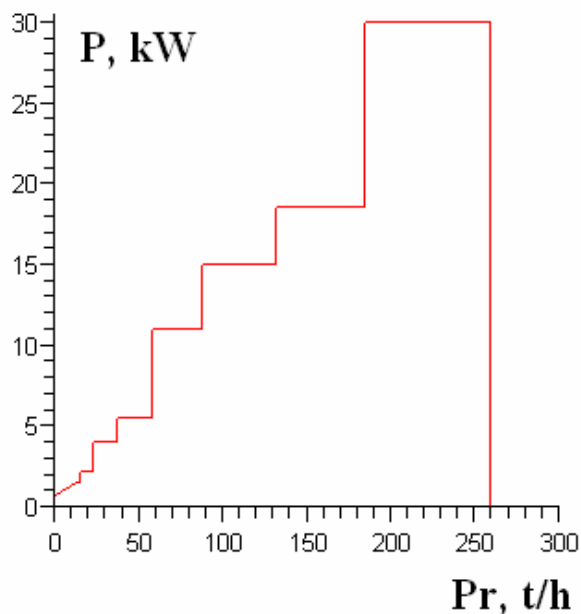


Fig. 3. Dependence of elevator drive power on the productivity

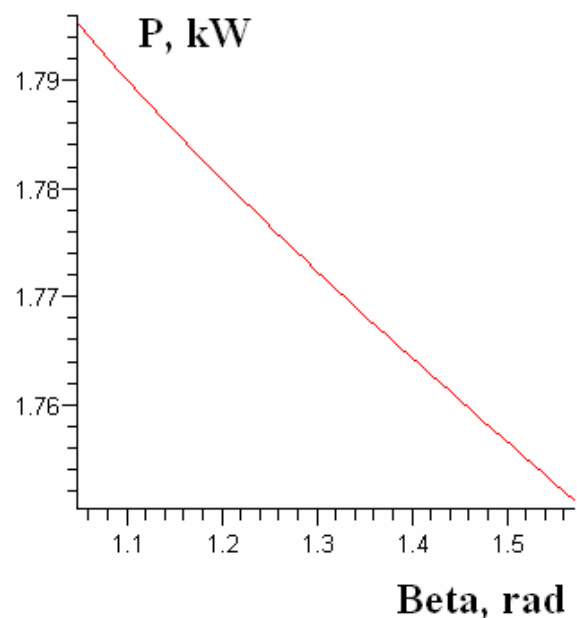


Fig. 4. Dependence of elevator drive power on the angle of inclination

Originality and practical value

It was plotted the analytical dependence of elevator drive power on its design parameters (type and characteristics of the cargo, lifting height, inclination angle, productivity), which takes into account the standard sizes and types of buckets and belts.

Using this dependence makes it possible rapid determination of the approximate value of drive power of inclined elevators with deep and shallow buckets and performing high-quality selection of its key elements at the specific design characteristics.

Based on the proposed dependences it was plotted graphic dependence of power influence of required inclined elevator's drive on design productivity at the fixed lift height, inclination angle, and the type of cargo. It was also presented the graphic dependence of drive power on the inclination angle of elevator at the other fixed design parameters.

Conclusions

For inclined belt bucket elevators it was plotted analytical dependence of the drive power value on its design parameters. This makes it possible to obtain the required drive power value taking into account the type and physical and mechanical properties of the cargo, the value of lift height, inclination angle, design productivity and working conditions, involving only one calculation formula. As an example of involving the obtained results it was considered the process of plotting the dependence of drive power on the design productivity of elevator for fine coal transportation. For such elevator it was plotted the parametric and graphic dependence of drive power on design productivity and inclination angle of elevator taking into account the standard parameters of buckets and properties of electric engines. It was established that the function of varying the value of elevator power on the design productivity (at fixed lifting height, type of cargo, inclination angle) is piecewise and monotonically increasing, and the dependence of elevator power value on its inclination angle (at fixed design productivity, lift height, load type, the speed of belt movement) is non-linear and monotonically decreasing.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Александров, М. П. Подъемно-транспортные машины : учебник / М. П. Александров. – Москва : Высш. шк., 2000. – 522 с.
2. Богомаз, В. М. Аналіз впливу проектних характеристик елеватора на параметри його приводу / В. М. Богомаз // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 3 (57). – С. 162–175. doi: 10.15802/stp2015/46076.
3. Богомаз, В. М. Дослідження впливу проектної продуктивності елеватора на потужність його приводу / В. М. Богомаз, К. Ц. Главацький, О. А. Мазур // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 2 (56). – С. 189–206. doi: 10.15802/stp2015/42178.
4. Богомаз, В. М. Дослідження залежності потужності приводу стрічкового конвеєру від його проектних параметрів / В. М. Богомаз // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 131–146. doi: 10.15802/stp2016/61024.
5. Зенков, Р. Л. Машины непрерывного транспорта : учебник / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов. – Москва : Машиностроение, 1987. – 432 с.
6. Іванченко, Ф. К. Підйомно-транспортні машини : підручник / Ф. К. Іванченко. – Київ : Вища шк., 1993. – 413 с.
7. Катрюк, И. С. Машины непрерывного транспорта. Конструкции, проектирование и эксплуатация : учеб. пособие / И. С. Катрюк, Е. В. Мусияченко. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2006. – 266 с.
8. Кузьмин, А. В. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин : учеб. пособие. – Минск : Высш. шк., 1983. – 350 с.
9. Підйомно-транспортні машини: розрахунки підйомальних і транспортувальних машин : підручник / В. С. Бондарев, О. І. Дубинець, М. П. Колісник [та ін.]. – Київ : Вища шк., 2009. – 734 с.
10. Ракша, С. В. Аналіз впливу пружних деформацій несучого каната на зусилля в тяговому канаті підвісної дороги / С. В. Ракша, Ю. К. Горячов, О. С. Куроп'ятник // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 6 (48). – С. 110–119. doi: 10.15802/stp2013/19686.
11. Расчет и проектирование транспортных средств непрерывного действия : науч. пособие для вузов / А. И. Барышев, В. А. Будишевский, А. А. Сулима, А. М. Ткачук. – Донецк : Норд-Пресс, 2005. – 689 с.
12. Ромакин, Н. Е. Машины непрерывного транспорта : учеб. пособие / Н. Е. Ромакин. – Москва : Издательский дом «Академия», 2008. – 432 с.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

13. Askari, H. Nonlinear Oscillations Analysis of the Elevator Cable in a Drum Drive Elevator System / H. Askari, D. Younesian, Z. Saadatnia // *Advances in Applied Mathematics and Mechanics*. – 2015. – Vol. 7. – Iss. 01. – P. 43–57. doi: 10.4208/aamm.2013.m225.
14. Failure Analysis on Conveyer Chain Links of a Central Bucket Elevator / J. Yin, O. Muvengei, J. Kihui, K. Njoroge / *J. of Mechanical and Civil Engineering*. – 2016. – Vol. 13. – Iss. 04. – P. 56–63. doi: 10.9790/1684-1304075663.
15. Li, S. C. Study on Elevator Drive System Dynamics Simulation of Rail Transport Conveyer / S. C. Li, X. J. Wang // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – Vol. 511–512. – P. 619–622. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.511-512.619.

В. М. БОГОМАЗ^{1*}, М. В. БОРЕНКО^{2*}, С. В. ПАЦАНОВСЬКИЙ^{3*}, О. О. ТКАЧОВ^{4*}

^{1*}Каф. «Військова підготовка спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, ел. пошта wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

^{2*}Каф. «Військова підготовка спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, ел. пошта bmw1961@ukr.net, ORCID 0000-0001-9578-3906

^{3*}Каф. «Військова підготовка спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, ел. пошта psven68@i.ua, ORCID 0000-0002-1628-3733

^{4*}Каф. «Військова підготовка спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, ел. пошта otkachov@i.ua, ORCID 0000-0002-1857-7567

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПРОЕКТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОХИЛОГО КІВШОВОГО ЕЛЕВАТОРА НА ПОТУЖНІСТЬ ЙОГО ПРИВОДУ

Мета. Одним із основних елементів похилих стрічкових ківшових елеваторів є їх привід. Для визначення потужності приводу необхідно виконати розрахунки за стандартними методиками, які наведені в сучасній літературі. Основними проектними параметрами таких елеваторів є продуктивність, висота підйому, тип та властивості транспортованого вантажу, кут нахилу. В роботі необхідно побудувати параметричну залежність потужності приводу елеватора від його проектних параметрів, яка враховувала б стандартні розміри і типи ковшів та стрічок. **Методика.** Використовуючи методику тягового розрахунку похилих стрічкових ківшових елеваторів, побудовано параметричні залежності зусиль у характерних точках траси елеватора, а також залежності потужності приводу швидкохідних елеваторів із глибокими та мілкими ковшами від їх проектних параметрів та характеристик. **Результати.** На основі побудованих параметричних залежностей встановлено, що функція зміни величини потужності елеватора від проектної продуктивності (при фіксованих висоті підйому, типі вантажу, куті нахилу) є кусково-сталою та монотонно зростаючою. Побудовано графічну залежність потужності приводу елеватора від кута нахилу в допустимих межах його зміни. Отримана залежність є нелінійною та монотонно спадаючою. Визначені в загальному вигляді інтервали проектних значень продуктивності, що забезпечують постійну величину потужності приводу похилого елеватора. Як приклад залучення отриманих результатів розглянуто процес побудови залежностей потужності приводу від проектної продуктивності та кута нахилу елеватора для транспортування дрібного вугілля. **Наукова новизна.** Авторами вперше побудовані параметричні залежності потужності приводу похилого ківшового елеватора від його проектних параметрів, які враховують стандартні розміри і типи ковшів та стрічок. **Практична значимість.** Використання побудованих залежностей дає можливість відносно швидкого визначення приблизного значення потужності приводу похилих швидкохідних елеваторів із глибокими та мілкими ковшами на стадії проектування, а також можливо виконати якісний підбір його основних елементів при конкретних проектних характеристиках: тип вантажу, продуктивність, висота підйому, кут нахилу.

Ключові слова: похилий елеватор; ківш; привід; потужність; продуктивність; вантаж; кут нахилу

В. Н. БОГОМАЗ^{1*}, Н. В. БОРЕНКО^{2*}, С. В. ПАЦАНОВСКИЙ^{3*}, А. А. ТКАЧОВ^{4*}^{1*}Каф. «Военная подготовка специалистов Государственной специальной службы транспорта», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, эл. почта wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671^{2*}Каф. «Военная подготовка специалистов Государственной специальной службы транспорта», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, эл. почта bmw1961@ukr.net, ORCID 0000-0001-9578-3906^{3*}Каф. «Военная подготовка специалистов Государственной специальной службы транспорта», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, эл. почта psvnen68@i.ua, ORCID 0000-0002-1628-3733^{4*}Каф. «Военная подготовка специалистов Государственной специальной службы транспорта», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, эл. почта otkachov@i.ua, ORCID 0000-0002-1857-7567

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАКЛОННОГО КОВШОВОГО ЭЛЕВАТОРА НА МОЩНОСТЬ ЕГО ПРИВОДА

Цель. Одним из основных элементов наклонных ленточных ковшовых элеваторов является их привод. Для определения мощности привода необходимо провести расчеты по стандартным методикам, которые изложены в современной литературе. Основными проектными параметрами являются производительность, высота подъема, тип и свойства транспортированного материала, угол наклона. В работе необходимо построить параметрическую зависимость мощности привода элеватора от его проектных параметров, которая учитывала бы стандартные размеры и типы ковшей и лент. **Методика.** Используя методику тягового расчета наклонных ленточных ковшовых элеваторов, построены параметрические зависимости усилий в характерных точках трассы элеватора, а также зависимости мощности привода быстроходных элеваторов с глубокими и мелкими ковшами от их проектных параметров и характеристик. **Результаты.** На основе построенных параметрических зависимостей установлено, что функция изменения величины мощности элеватора от проектной производительности (при фиксированных высоте подъема, типе груза, скорости движения ленты) является кусочно-постоянной и монотонно возрастающей. Построена графическая зависимость мощности привода элеватора от угла наклона в допустимых пределах его изменения. Полученная зависимость является нелинейной и монотонно убывающей. Определены в общем виде интервалы проектных значений производительности, которые обеспечивают постоянную величину мощности привода наклонного элеватора. В качестве примера применения полученных результатов рассмотрен процесс построения зависимости мощности привода от проектной производительности и угла наклона элеватора для транспортировки мелкого угля. **Научная новизна.** Авторами впервые построены параметрические зависимости мощности привода наклонного ковшевого элеватора от его проектных параметров, которые учитывают стандартные размеры и типы ковшей и лент. **Практическая значимость.** Использование построенных зависимостей дает возможность относительно быстрого определения приблизительного значения мощности привода наклонных быстроходных элеваторов с глубокими и мелкими ковшами на стадии проектирования. А также можно выполнить качественный подбор его основных элементов при конкретных проектных характеристиках: типе груза, производительности, высоте подъема, угле наклона.

Ключевые слова: наклонный элеватор; ковш; привод; мощность; производительность; груз; угол наклона

REFERENCES

1. Aleksandrov M.P. *Podyemno-transportnyye mashiny* [Handling machinery]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2000. 522 p.
2. Bohomaz V.M. Analiz vplyvu proektnykh kharakterystyk elevatoru na parametry yoho pryvodu [Influence analyses of designed characteristics of the elevator to the parameters of its drive]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 3 (57), pp. 162-175. doi: 10.15802/stp2015/46076.
3. Bohomaz V.M., Hlavatskyi K.Ts., Mazur O.A. Doslidzhennia vplyvu proektnoi produktyvnosti elevatoru na potuzhnist yoho pryvodu [Research of influencing of project discriptions of elevator on parameters of its drive]. *Nauka ta prohres transport – Science and Transport Progress*, 2015, no. 2 (56), pp. 189-206. doi: 10.15802/stp2015/42178.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

4. Bohomaz V.M. Doslidzhennia zalezhnosti potuzhnosti pryvodu strichkovoho konveieru vid yoho proektnykh parametriv [Research of dependence of belt conveyer drive power on its design parameters]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2016, no. 1 (61), pp. 131-146. doi: 10.15802/stp2016/61024.
5. Zenkov R.L., Ivashkov I.I., Kolobov L.N. *Mashiny nepreryvnogo transporta* [Stream-flow transportation machines]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1987. 432 p.
6. Ivanchenko F.K. *Pidiomno-transportni mashyny* [Handling machinery]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 1993. 413 p.
7. Katryuk I.S., Musiyachenko Ye.V. *Mashiny nepreryvnogo transporta. Konstruktsii, proyektirovaniye i ekspluatatsiya* [Stream-flow transportation machines. Constructions, designing and operation]. Krasnoyarsk, IPTs KGTU Publ., 2006. 266 p.
8. Kuzmin A.V. *Spravochnik po raschetam mekhanizmov podryemno-transportnykh mashin* [Reference book on calculation of mechanisms of handling machinery]. Minsk, Vysshaya shkola Publ., 1983. 350 p.
9. Bondariev V.S., Dubynets O.I., Kolisnyk M.P. *Pidiomno-transportni mashyny: rozrakhunky pidiimalnykh i transportovalnykh mashyn* [Handling machinery: calculations of lifting and transporting machines]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 2009. 734 p.
10. Raksha S.V., Horiachov Yu.K., Kuropiatnyk O.S. Analiz vplyvu pruzhnykh deformatsii nesuchoho kanata na zusyilia v tiahovomu kanati pidvisnoi dorohy [Influence analysis of elastic deformations of the track cable on efforts in the hauling rope of aerial ropeway]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2013, no. 6 (48), pp. 110-119. doi 10.15802/stp2016/61024.
11. Baryshev A.I., Budishevskiy V.A., Sulima A.A., Tkachuk A.M. *Raschet i proyektirovaniye transportnykh sredstv nepreryvnogo deystviya* [Calculation and design of stream-flow transportation machines]. Donetsk, Nord-Press Publ., 2005. 689p.
12. Romakin N.Ye. *Mashiny nepreryvnogo transporta* [Stream-flow transportation machines]. Moscow, Akademiya Publ., 2008. 432 p.
13. Askari H., Younesian D., Saadatnic Z. Nonlinear oscillations analysis of the elevator cable in a drum drive elevator system. *Advances in Applied Mathematics and Mechanics*, 2015, vol. 7, issue 01, pp. 43-57. doi: 10.4208/aamm.2013.m225.
14. Yin J., Muvengei O., Kihui J., Njoroge K. Failure analysis on conveyer chain links of a central bucket elevator. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2016, vol. 13, issue 04, pp. 56-63. doi: 10.9790/1684-1304075663.
15. Li S.C., Wang X.J. Study on elevator drive system dynamics simulation of rail transport conveyer. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 511-512, pp. 619-622. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.511-512.619.

Prof. S. V. Raksha, D. Sc. (Tech.); Associate Prof. S. V. Shatov, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published

Accessed: Sep. 07, 2016

Received: Dec. 29, 2016

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

UDC 692.47:624.012.45-034.14

G. M. GASII^{1*}

^{1*}Dep. «Structures from Metal, Wood and Plastics», Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University,
Pershotravnevyi Av., 24, Poltava, Ukraine, 36011, e-mail grigoriigm@gmail.com, ORCID 0000-0002-1492-0460

TYPES OF STEEL AND CONCRETE COMPOSITE CABLE SPACE FRAMES

Purpose. Modern terms of the construction generate the need to find new structures, including roof systems that would meet modern requirements. An important aspect in finding constructive solutions for new structures is the use of reliable and advanced materials. Considering this, the decision to develop the new space structures to a wide implementation in practice of domestic and foreign construction are relevant and perspective direction of building structures development. **Methodology.** Given the results of previously conducted theoretical research of existing types of space roof structures find promising areas of improvement or creation of new structures that should be devoid of weaknesses and imperfections of analogs and they should have an economic effect through rational use of materials. **Findings.** Types of steel and concrete composite cable space frames and structural features of its elements are developed and considered. The steel and concrete composite cable space frame is a completely new kind of space structure system that has the original structural concept and it was designed to cover large-span industrial and public buildings. The basic elements of that structure system are modular element of the bottom chord and space steel and concrete composite module that consists of tubular rods and reinforced concrete slab. All modular elements are made in the factory. With bottom chord modular elements and space steel and concrete composite modules can be assembled three types of longitudinal elements. It is the beam element, arched element and hanging element. Also with the modules can be assembled various structure system and their combinations. Number of space steel and concrete composite modules and bottom chord modular elements, which is needed to collect steel and concrete composite cable space frames, is determined by calculation and optimal designing. Recommended dimensions of the modular elements of the steel and concrete composite cable space frames are presented. **Originality.** The new efficient construction roofs that appointment for covering large-span buildings were developed by the author. **Practical value.** Developed steel and concrete composite grid-gable roofs are designed for industrial and civil construction. Applications of developed designs for the construction of large-span covering objects provides a significant economic benefit through the efficient use of materials.

Keywords: plate; tube; bar; bolt; module; top chord; bottom chord

Introduction

There is a problem often in building sector, which lies in the complexity of work and material overruns due to no effective use. This situation in the construction has developed due non-compliance existing industry design solutions to modern requirements that over time morally and physically obsolete. These factors directly affect

the overall cost and duration of the construction project, so there is a requirement to improve and finding the new structures systems, including space structures that would permit largely achieve savings of materials and reduce complexity of technological processes.

This was the cause of the idea of developing the new concept of the space steel and concrete composite systems that not only will combine in

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

themselves the results of previous studies [5, 6, 10] and will have positive properties of existing spatial structures, but will have own unique properties are specific to them.

Analysis of recent sources of research and publications has shown that steel and concrete composite is a material that were used very widely in various fields of construction [3, 8, 9, 11, 14, 15]. Currently the main directions of research the steel and concrete space structures are related with the improvement of methods of calculation and constructive solutions as well as study influence of different types of load on the stress-strained state and so on [4, 7, 12, 13].

The analysis of previous studies has shown that most of the steel and concrete space structures are monolithic. However, prefabricated structures, which would allow building curved surface, have not developed yet.

Purpose

To develop and present main types of steel and concrete composite cable space frames that will allow building large-span roof system applied to transport infrastructure.

Methodology and Findings

There is an opportunity to build cover buildings various sizes and shapes, including various membrane curvature, domes, and others due to that steel and concrete composite cable space frames is modular. Considering the novelty of the structure concept of the steel and concrete composite cable space frames a priority task is to define the field of application these structures and to develop several types of forms and structural elements. Concurrently all samples that were developed were patented. The basic elements of that structure system are modular elements of the bottom chord (Fig. 1) and the steel and concrete composite space modules that consists of tubular diagonal and reinforced concrete slab (Fig. 2) [2].

In general, the basis of the steel and concrete composite space module is reinforced concrete or steel-concrete square slab. It plays the role of the top chord of the steel and concrete composite cable space frames. In general, dimensions of the reinforced concrete slab can be different and are calculated, but the recommended dimensions of the slab in the plan are 1.5×1.5 m or 3×3 m. The diagonals are made of circular cross section, preferably with

a tube, which plays the role of the lattice of the structure. The angle between tubular diagonal and their horizontal projections α can be for as conventional space grid structures, but recommended 45°. The steel and concrete composite space modules are combined to each other by means of the nodal connections in a plane of the top chord (Node 2, see Fig. 3) in the plane of the bottom chord (Node 1 see Fig. 4), construction of which can be different design depending on the type of steel and concrete composite cable space frames [1].

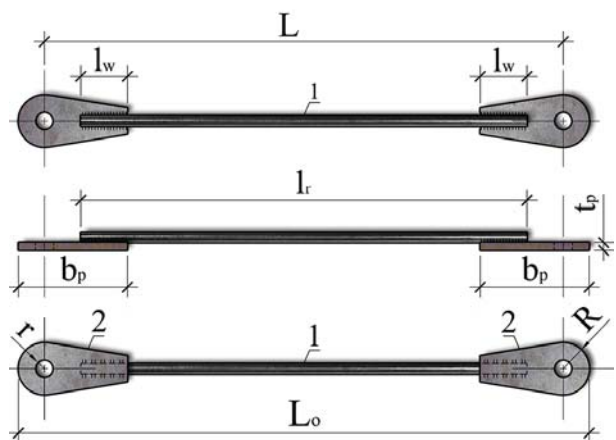


Fig. 1. Modular elements of the bottom chord of steel and concrete composite cable space frames:
1 – steel rod; 2 – steel plate with hole

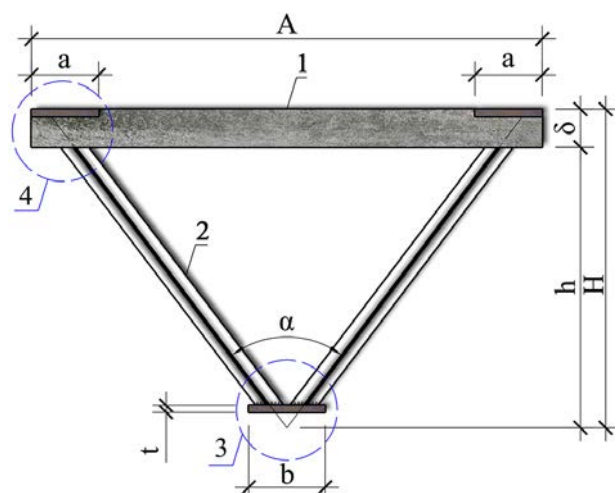


Fig. 2. Steel and concrete composite space module:
1 – reinforced concrete slab;
2 – tubular diagonal
3 – node on top chord (node 1);
4 – node on bottom chord (node 2)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

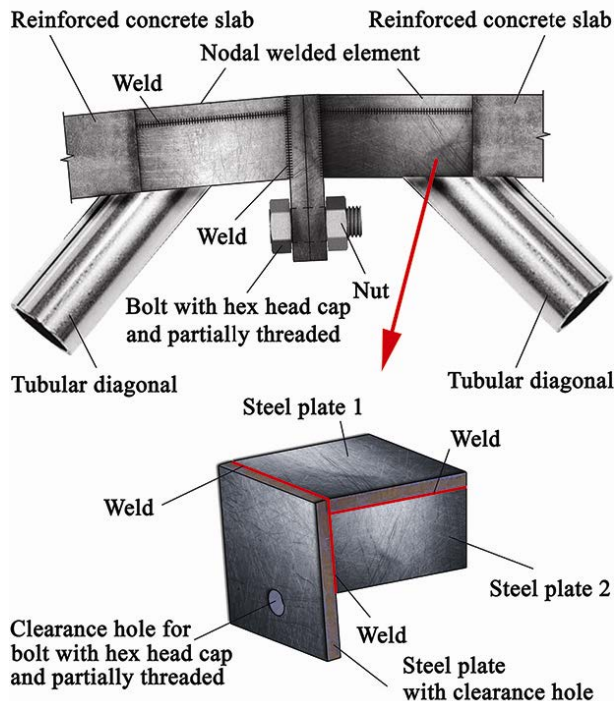


Fig. 3. Example of the nodal connections on a plane of the top chord (Node 2)

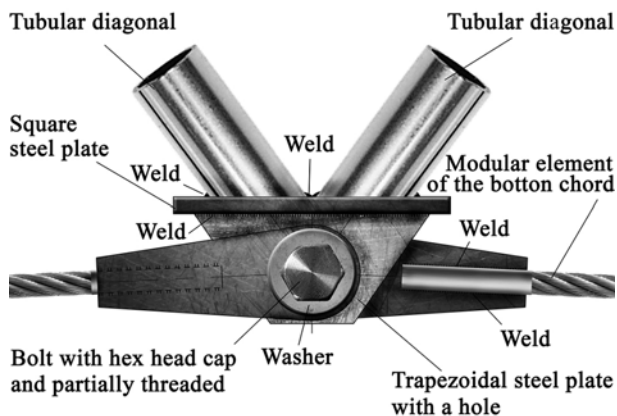


Fig. 4. Example of the nodal connections on a plane of the bottom chord (Node 1)

The node on plane of the top chord includes the nodal welded element, which consist of three steel parts: rectangular steel plate 1, rectangle trapezoid steel plate 2 and rectangular steel plate with clearance hole. These steel plates are connected with electric arc welding. Two nodal welded elements that are part of steel and concrete composite space modules are connected with partially threaded bolt with hex head cap through the clearance hole.

The node on plane of the bottom chord includes the nodal welded element, which consists of two steel parts: square steel plate and trapezoid steel plate with clearance hole. These steel plates are connected with electric arc welding.

To reduce the weight of the steel and concrete composite space module was offered improved design solution, the essence of which was to use the plate as the top chord, which is made from lightweight concrete or ferrocement, as well as tubular rods were used, which are made from high-strength steel. As a result, the lightweight element of structure was patented. Lightweight element of structure is part of the steel and concrete composite cable space frames and can be used in the construction of large-span public and industrial buildings. The effectiveness of lightweight elements consists in low weight, ease of installation, low complexity manufacturing, short period of the construction. It should be noted that lightweight elements are made entirely in the factory.

With bottom chord modular elements (see Fig. 1) and space steel and concrete composite modules (see Fig. 2) can be assembled three types of longitudinal elements. It is the beam element, arched element and hanging element (Fig. 5).

Longitudinal elements can be used equally effectively as cover for large and small spans (Fig. 5) and be an alternative to precast concrete system, which consist of hollow or ribbed panels that are mounted on truss or beams, also composite steel deck concrete roof system.

Longitudinal elements, which do not exceed the length of the dimensions of transportation are completely manufactured and assembled in the factory. In this case, longitudinal elements are delivered to the building site as a complete construction. This will greatly reduce the complexity of assembly and installation and reduce the total duration of the construction steel and concrete composite cable space frames. The effectiveness of complete factory manufacturing of the modular or longitudinal elements is especially evident in the case when elements have constructive improvements that are designed to simplify and reduced the length of works. For example, Fig. 6 shows the steel and concrete composite space module with a steel frame, the effectiveness of this solution lies in the frame that serves as not only a means to strengthen the slab, but also to connect the mod-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

ules to each other in the case of welding. In addition, steel frame also serves as a permanent form during concreting of module. Fig. 7 shows another example. It is the steel and concrete composite

space module, which besides steel frame has additional elements – steel shelves, which serve as an aid in the installation the construction.

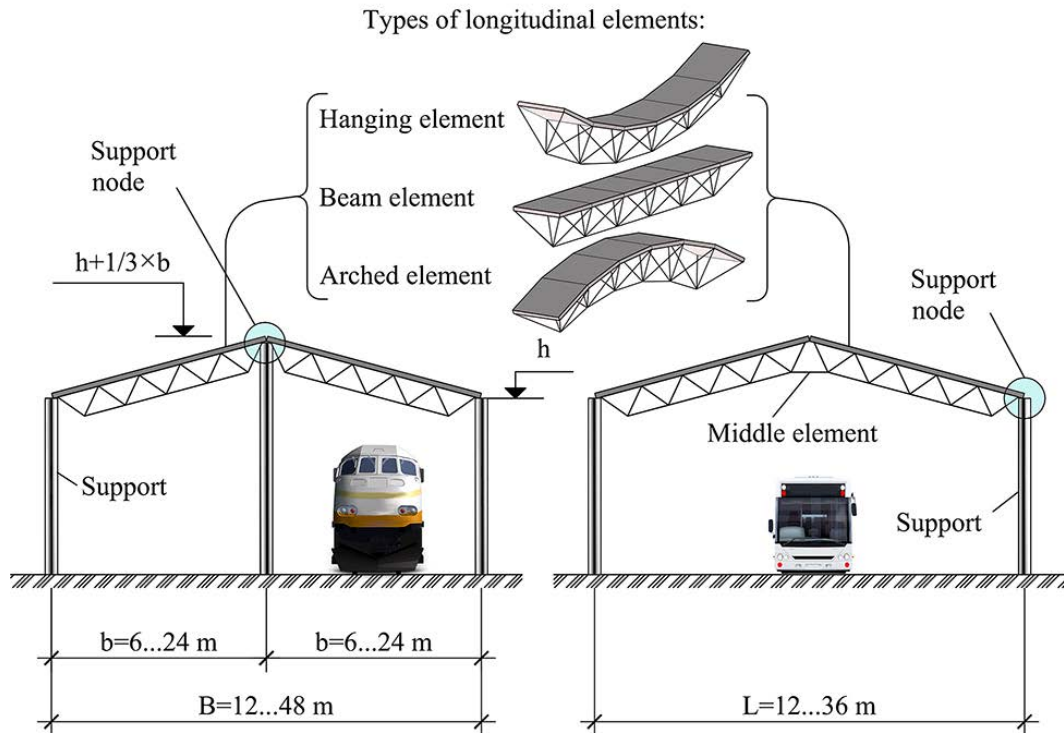


Fig. 5. Variants of roof system are made from longitudinal elements

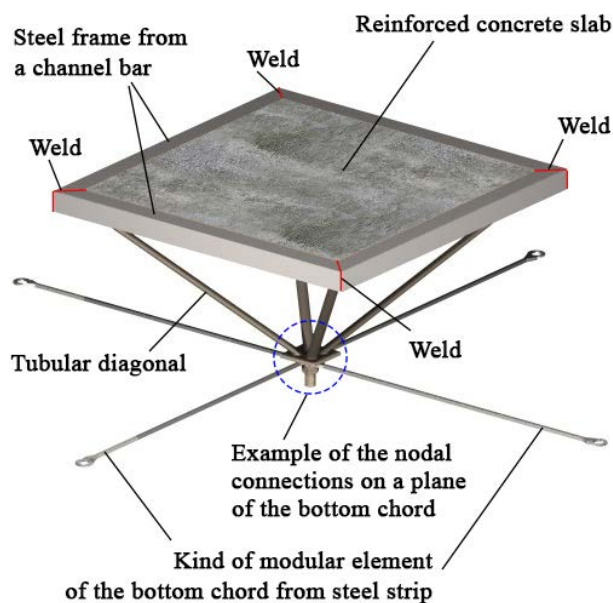


Fig. 6. Improved designs of the steel and concrete composite space module with a steel frame

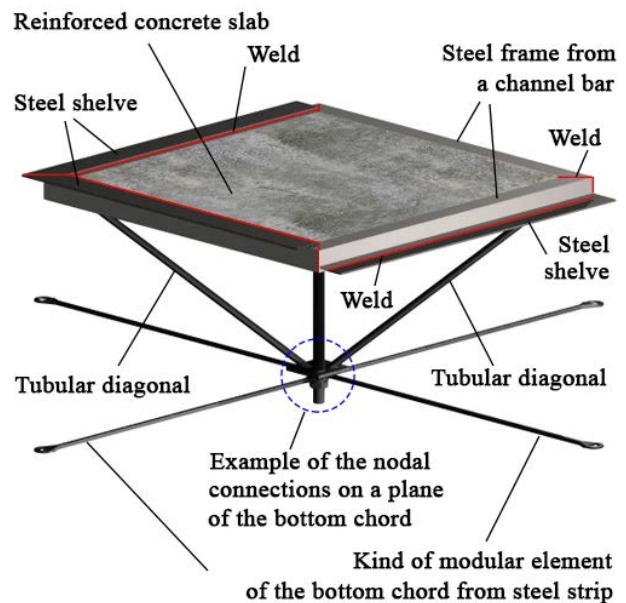


Fig. 7. Improved designs of the steel and concrete composite space module with steel shelves

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Curvature of longitudinal elements or steel and concrete composite cable space frames is provided by reducing or increasing the length of the modular element of the bottom chord L (see Fig. 1), in consequence of which between steel and concrete composite space modules is formed mutual angle. However, it should be noted that the curvature of the arch of steel and concrete composite cable space frames is limited and depends on conditions of fixing. While designing of steel and concrete composite cable space frames need to remember that the modular element of the bottom chord are designed to work only in tension. Thus designing these systems should take the following geometric dimensions of its constituent elements and geometric parameters that will prevent the emergence of effort compression elements in the modular element of the bottom chord. Determining some optimum geometrical parameters of these structures were presented in [2]. In general, for steel and concrete composite cable space frames with recommended dimensions of the steel and concrete composite space module and angle between diagonal and its horizontal projection, the relationship between the length of the modular element of the bottom chord and angle has barely noticeable curvilinear nature.

Originality and practical value

The steel and concrete composite cable space frames are the new kind of effective space grid structures that allow saving of material resources and reducing construction laboriousness because the bottom chord of the frames are made of flexible rods. These rods in its essence and idea are not designed for compression, so for the manufacture of such rods there is no need to apply rigid and massive types of metal rolling to provide a load carrying capacity and rigidity of the frames. This specifics of the designed frames are closely associated with the utilize of high-strength steels for manufacturing elements of the bottom chord, because as we know in tension elements effectively apply high-strength steels. This fact was found after comparison between developed frames and typical design solutions of long-span roof system had been conducted. It has been found that the steel and concrete composite cable space frames can be lighter than typical roof systems about at 32–72%.

Conclusions

The steel and concrete composite cable space frames are the new kind of large-span structures, which have significant advantages, in particular, they are lighter and have lower complexity of manufacturing and assembly than analogues. The basic elements of that structure system are modular elements of the bottom chord and space steel and concrete composite modules. Modular elements of the bottom chord, steel and concrete composite space modules and three types of longitudinal elements are used for construction large-span industrial and public buildings. Thanks to its modular design the steel and concrete composite cable space frames can be varied expressive architectural outline and shape. Flat double-layer grid is the simplest type of the steel and concrete composite cable space frames. This type of structures is used efficiently for small spans like that structure that installed on individual supports or on a contour.

In general, from modular elements can be erected not only the proposed system but also many others, including steel and concrete composite cable space frames, which have complex shapes or combinations for covering hangars for aircraft, machinery or equipment, etc.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Гасій, Г. М. Аналіз напружено-деформованого стану трапецієподібної сталевій пластини вузла з'єднання елементів нижнього пояса експериментальної структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки / Г. М. Гасій // 36. наук. пр. УкрДУЗТ. – Харків, 2016. – Вип. 162. – С. 41–47.
2. Стороженко, Л. І. Особливості конструктивного рішення та проектування повнорозмірного експериментального зразка структурно-вантового сталезалізобетонного покриття / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій // 36. наук. пр. Серія : Галузеве машинобудування, буд-во / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. – Полтава, 2016. – Вип. 1 (46). – С. 51–59.
3. Шмуклер, В. С. Экспериментальные исследования пролетного строения пешеходного моста нового типа / В. С. Шмуклер, Е. С. Краснова, С. Н. Краснов // Вестн. Харьк. нац. автомоб.-дорож. ун-та. – Харьков, 2012. – Вып. 58. – С. 70–77.
4. Altoubat, S. Effect of fibers and welded-wire reinforcements on the diaphragm behavior of compos-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- ite deck slabs / S. Altoubat, H. Ousmane, S. Barakat // *Steel and Composite Structures*. – 2015. – Vol. 19. – Iss. 1. – P. 153–171. doi:10.12989/scs.2015.19.1.153.
5. Bai, Y. Novel Joint for Assembly of All-Composite Space Truss Structures: Conceptual Design and Preliminary Study / Y. Bai, X. Yang // *J. of Composites for Construction*. – 2013. – Vol. 17. – Iss. 1. – P. 130–138. doi: 10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000304.
 6. Dan, D. Theoretical and experimental study on composite steel–concrete shear walls with vertical steel encased profiles / D. Dan, A. Fabian, V. Stoian // *J. of Constructional Steel Research*. – 2011. – Vol. 67. – Iss. 5. – P. 800–813. doi: 10.1016/j.jcsr.2010.12.013.
 7. Gasii, G. M. Technological and design features of flat-rod elements with usage of composite reinforced concrete / G. M. Gasii // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2014. – № 4. – P. 23–25.
 8. Ivanyk, I. Research of composite combined prestressed constructions / I. Ivanyk, Y. Vybranets, Y. Ivanyk // *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*. – 2014. – T. 13, № 2. – C. 81–88.
 9. Johnson, R. P. Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns, and Frames for Buildings / R. P. Johnson. – 3^d ed. – Oxford : Blackwell, 2004. – 252 p.
 10. Nathan, W. A. Composite Structural Steel and Prestressed Concrete Beam for Building Floor Systems / W. A. Nathan. – Lincoln : University of Nebraska, 2012. – 112 p.
 11. Oehlers, D. J. Composite Steel and Concrete Structures: Fundamental Behavior / D. J. Oehlers, M. A. Bradford. – Oxford : Elsevier, 2013. – 588 p.
 12. Tang, R. Q. The static study on steel truss concrete slab composite structure / R. Q. Tang, Y. Huang // *J. of Guizhou University (Natural Sciences)*. – 2013. – Vol. 5. – P. 23.
 13. Uy, B. Applications, behaviour and design of composite steel-concrete structures / B. Uy // *Advances in Structural Engineering*. – 2012. – Vol. 15. – Iss. 9. – P. 1559–1572. doi: 10.1260/1369-4332.15.9.1559.
 14. Vayas, I. Design of steel-concrete composite bridges to Eurocodes / I. Vayas, A. Iliopoulos. – Boca Raton ; London ; New York : CRC Press, 2013. – 584 p. doi: 10.1201/b15690.
 15. Yang, X. Structural performance of a large-scale space frame assembled using pultruded GFRP composites / X. Yang, Y. Bai, F. Ding // *Composite Structures*. – 2015. – Vol. 133. – P. 986–996. doi: 10.1016/j.compstruct.2015.07.120.

Г. М. ГАСІЙ^{1*}

^{1*}Каф. «Конструкції з металу, дерева та пластмас», Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, пр-т Першотравневий, 24, Полтава, Україна, 36011, e-mail grigoriigm@gmail.com, ORCID 0000-0002-1492-0460

ТИПИ ПРОСТОРОВИХ СТРУКТУРНО-ВАНТОВИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Мета. Умови існуючого будівництва породжують необхідність пошуку нових конструкцій, зокрема покриттів, які б задовольняли сучасним вимогам. Важливим моментом у пошуку конструктивних рішень нових конструкцій є використання надійних і сучасних матеріалів. Враховуючи це, рішення розробити нові просторові конструкції з метою широкого впровадження в практику вітчизняного й зарубіжного будівництва є актуальним і перспективним напрямком розвитку будівельних конструкцій. **Методика.** З урахуванням результату попередньо проведеного теоретичного дослідження існуючих типів просторових конструкцій покриттів знайдено перспективні напрямки їх удосконалення або створення нових конструкцій, які були б не лише позбавлені недоліків та недосконалостей аналогів, але й мали економічний ефект за рахунок раціонального використання матеріалів. **Результати.** Розроблено та розглянуто типи просторових структурно-вантових сталезалізобетонних конструкцій та конструктивні особливості їх елементів. Просторові структурно-вантові сталезалізобетонні конструкції – абсолютно новий вид просторових несучих систем із оригінальним конструктивним рішенням, що призначені для покриття великопролітних промислових та громадських будівель і споруд. Основними елементами таких конструкцій є модульні елементи нижнього пояса та просторові сталезалізобетонні модулі, які складаються із плит та трубчастих стрижнів. Всі модульні елементи виготовляються в заводських умовах. З просторових сталезалізобетонних модулів і модульних елементів нижнього пояса можуть збиратися три типи лінійних елементів: балковий, арковий і висячий, а також різні несучі системи та їх комбінації. Кількість просторових сталезалізобетонних модулів та модульних елементів

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

нижнього пояса, що необхідні для збирання просторових конструкцій, визначається розрахунком та варіантним проектуванням. Наведено рекомендовані розміри модульних елементів структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції. **Наукова новизна.** Автором розроблені нові ефективні конструкції покриттів, які призначені для перекриття великопролітних будівель та споруд. **Практична значимість.** Розроблені сталезалізобетонні структурно-вантові покриття призначені для промислового та цивільного будівництва. Застосування розроблених конструкцій для зведення покриття великопролітних будівель та споруд дозволяє отримати значний економічний ефект за рахунок раціонального використаних матеріалів.

Ключові слова: пластина; труба; стрижень; болт; модуль; верхній пояс; нижній пояс

Г. М. ГАСИЙ^{1*}

^{1*}Каф. «Конструкции из металла, дерева и пластмасс», Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, пр-т Первомайский, 24, Полтава, Украина, 36011, e-mail grigoriigm@gmail.com, ORCID 0000-0002-1492-0460.

ТИПЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРУКТУРНО-ВАНТОВЫХ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Цель. Условия существующего строительства порождают необходимость поиска новых конструкций, в частности покрытий, которые бы удовлетворяли современным требованиям. Важным моментом в поиске конструктивных решений новых конструкций является использование надежных и современных материалов. Учитывая это, решение разработать новые пространственные конструкции с целью широкого внедрения в практику отечественного и зарубежного строительства является актуальным и перспективным направлением развития строительных конструкций. **Методика.** С учетом результата предварительно проведенного теоретического исследования существующих типов пространственных конструкций покрытий найдены перспективные направления их усовершенствования или создания новых конструкций, которые были бы не только лишены недостатков и несовершенств аналогов, но и имели бы экономический эффект за счет рационального использования материалов. **Результаты.** Разработаны и рассмотрены типы пространственных структурно-вантовых сталезалезобетонных конструкций и конструктивные особенности их элементов. Пространственные структурно-вантовые сталезалезобетонные конструкции – абсолютно новый вид пространственных несущих систем с оригинальным конструктивным решением, предназначены для покрытия большепролетных промышленных и общественных зданий и сооружений. Основными элементами таких конструкций являются модульные элементы нижнего пояса и пространственные сталезалезобетонные модули, состоящие из плит и трубчатых стержней. Все модульные элементы изготавливаются в заводских условиях. С пространственных сталезалезобетонных модулей и модульных элементов нижнего пояса могут собираться три типа линейных элементов: балочный, арочный и висячий, а также различные несущие системы и их комбинации. Количество пространственных сталезалезобетонных модулей и модульных элементов нижнего пояса, необходимое для сбора пространственных конструкций, определяется расчетом и вариантным проектированием. Приведены рекомендуемые размеры модульных элементов структурно-вантовой сталезалезобетонной конструкции. **Научная новизна.** Автором разработаны новые эффективные конструкции покрытий, которые предназначены для перекрытия большепролетных зданий и сооружений. **Практическая значимость.** Разработанные сталезалезобетонные структурно-вантовые покрытия предназначены для промышленного и гражданского строительства. Применение разработанных конструкций для возведения покрытий большепролетных зданий и сооружений позволяет получить значительный экономический эффект за счет рационально использованных материалов.

Ключевые слова: пластина; труба; стержень; болт; модуль; верхний пояс; нижний пояс

REFERENCES

1. Gasii G.M. Analiz napruzhenno-deformovanoho stanu trapetsiiepodibnoi stalevoi plastyny vuzla ziednannia elementiv nyzhnoho poiasa eksperymentalnoi strukturno-vantovoi stalezalizobetonnoi tsylindrychnoi obolonky [Analysis of stress-strain state of the trapezoidal steel plate used for joint of elements of the bottom chord of the experimental composite steel and concrete grid-cable barrel shell]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Proc. of Ukrainian State University of Railway Transport], 2016, issue 162, pp. 41-47.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

2. Storozhenko L.I., Gasii G.M. Osoblyvosti konstruktivnoho rishennia ta proektuvannia povnorozmirnogo eksperymentalnoho zrazka strukturno-vantovoho stalezalizobetonnoho pokryttia [The features of structural concept and designing of the full-length experimental module of the composite steel and concrete grid-cable roof]. *Zbirnyk naukovykh prats Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu imeni Yu. Kondratiuka. Seriya «Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo»* [Proc. of Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Series «Industrial Engineering, Construction»], 2016, issue 1 (46), pp. 51-59.
3. Shmukler V.S., Krasnova Ye.S., Krasnov S.N. Eksperimentalnyye issledovaniya proletnogo stroyeniya peshekhodnogo mosta novogo tipa [Experimental studies of pedestrian bridge span structures of new type]. *Vestnik Kharkovskogo natsionalnoho avtomobilno-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University], 2012, issue 58, pp. 70-77.
4. Altoubat S., Ousmane H., Barakat S. Effect of fibers and welded-wire reinforcements on the diaphragm behavior of composite deck slabs. *Steel and Composite Structures*, 2015, vol. 19, no. 1, pp. 153-171. doi: 10.12989/scs.2015.19.1.153.
5. Bai Y., Yang X. Novel Joint for Assembly of all-composite space truss structures: conceptual design and preliminary study. *Journal of Composites for Construction*, 2012, vol. 17, no. 1, pp. 130-138. doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000304.
6. Dan D., Fabian A., Stoian V. Theoretical and experimental study on composite steel-concrete shear walls with vertical steel encased profiles. *Journal of Constructional Steel Research*, 2011, vol. 67, no. 5, pp. 800-813. doi: 10.1016/j.jcsr.2010.12.013.
7. Gasii G.M. Technological and design features of flat-rod elements with usage of composite reinforced concrete. *Metallurgical and Mining Industry*, 2014, no. 4, pp. 23-25.
8. Ivanyk I., Vybranets Y., Ivanyk Y. Research of composite combined prestressed constructions. *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*, 2014, vol. 13, no. 2, pp. 81-88.
9. Johnson R.P. Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns, and Frames for Buildings. 3^d ed. Oxford, Blackwell, 2004. 252 p.
10. Nathan W. A Composite Structural Steel and Prestressed Concrete Beam for Building Floor Systems. Lincoln, University of Nebraska Publ., 2012. 112 p.
11. Oehlers D.J., Bradford M.A. Composite Steel and Concrete Structures: Fundamental Behavior. Oxford, Elsevier Publ., 2013. 588 p.
12. Tang R.Q., Huang Y. The static study on steel truss concrete slab composite structure. *Journal of Guizhou University (Natural Sciences)*, 2013, no. 5, 23 p.
13. Uy B. Applications, behaviour and design of composite steel-concrete structures. *Advances in Structural Engineering*, 2012, vol. 15, no. 9, pp. 1559-1572. doi: 10.1260/1369-4332.15.9.1559.
14. Vayas I., Iliopoulos A. Design of steel-concrete composite bridges to Eurocodes. Boca Raton, London, New York, CRC Press Publ., 2013. 584 p.
15. Yang X., Bai Y., Ding F. Structural performance of a large-scale space frame assembled using pultruded GFRP composites. *Composite Structures*, 2015, no. 133, pp. 986-996. doi: 10.1016/j.compstruct.2015.07.120.

Prof. L. I. Storozhenko, D. Sc. (Tech.) (Ukraine); Prof. D. O. Bannikov, D. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: Sep. 07, 2016

Received: Dec. 01, 2016

УДК 691.32:624.012.44.042

Д. В. РУДЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Міське будівництво та господарство», Запорізька державна інженерна академія, пр. Соборний, 226,
Запоріжжя, Україна, 69006, тел. + 38 (098) 214 04 85, ел. пошта veberc@ukr.net, ORCID 0000-0003-0827-042X

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ
МОДИФІКОВАНОГО МОНОЛІТНОГО БЕТОНУ**

Мета. Стаття присвячена дослідженню напруженого стану модифікованого монолітного бетону природного тверднення. **Методика.** Для досягнення поставленої мети проведені дослідження мікроструктури дисперсно модифікованої цементної матриці бетону, механізму структуроутворення модифікованого бетону природного тверднення; визначені методи надійної оцінки деформативних властивостей бетону. **Результати.** Розвиток внутрішніх напружень по-різному впливає на властивості бетону. При наростанні температурно-усадкових деформацій у часі і, отже, при збільшенні структурних напружень у цементній оболонці навколо зерен заповнювача можуть розвиватися два протилежних процеси: зона пластичного плину або зона тріщин. **Наукова новизна.** Встановлено, що комплекс структурних особливостей модифікованого бетону при передачі навантаження призводить до формування широкої зони передруйнування, здатної поглинати значний об'єм пружної енергії деформації, що забезпечує отримання проектних деформативних властивостей бетону спеціального призначення. Отримали подальший розвиток уявлення про визначення критерію тріщиноутворення модифікованого бетону, що твердне в природних умовах. **Практична значимість.** Отримані рівняння дозволяють вирішити питання про мінімальний рівень структурних напружень у монолітному бетоні при певному насиченні його крупним заповнювачем, а також оцінити вплив структурних напружень на властивості бетону. У звичайних бетонів з відносно тонкою цементною оболонкою при температурно-усадкових деформаціях виникають високі тангенціальні та невеликі радіальні напруження. У природних умовах ці напруження вище в результаті підвищення значень $\Delta\epsilon(t)$, чого не спостерігається у модифікованих бетонів. У модифікованих бетонах найбільшу небезпеку для структури представляють лише тангенціальні напруження. Зміна усадкових напружень у часі має однозначний характер. Сумарні температурно-усадкові деформації мають пілоподібний графік. Для модифікованого бетону амплітуда коливань на 48...53 % менше. Це дозволить вирішити ряд технологічних завдань при зведенні монолітних будівель.

Ключові слова: модифікований бетон; монолітний бетон; напружений стан; деформативні характеристики

Вступ

Сучасний рівень розвитку будівництва вимагає подальшого розвитку концепції бетонів нового покоління, які необхідні для сприйняття зростаючих впливів природного і техногенного характеру, а також для особливих умов експлуатації [8, 9, 17].

Отримання бетонів нового покоління з високими експлуатаційними властивостями (БЕВ) має забезпечуватися технологією, заснованою на використанні існуючої виробничої бази і традиційних матеріалів. Такі бетони повинні мати міцність класу В 70 і вище, підвищену щільність і довговічність, зберігаючи всі переваги, які зробили їх основним конструкційним матеріалом будівництва. Удосконалена технологія вимагає

якісно нового підходу, здатного забезпечити повну реалізацію в'язучих властивостей цементу і потенційний запас міцності бетону [20, 21].

У природних умовах у результаті нерівномірного нагрівання (охолодження) або висихання (зволоження) по перерізу бетонних конструкцій виникає температурно-вологісний градієнт і, отже, власні напруження, урівноважені в об'ємі всієї конструкції. Якісно інші внутрішні напруження – структурні – викликаються температурно-вологісними деформаціями в анізотропній структурі бетону. Аналіз структурних напружень бетону показав, що величина їх значна і часто переважає границю міцності матеріалу [13, 16]. Структурні напруження врівноважуються в зоні зерен заповнювача [10–12].

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Субмікроструктурні напруження виникають у цементній матриці бетону при розвитку кристалогідратних новоутворень [7, 22]. Дослідження цих напружень значно ускладнені, тому що вони урівноважені в мікроскопічних об'ємах цементної матриці бетону. Розвиток мікротріщин кристалізації в бетоні не спостерігається. Це, вочевидь, можна пояснити капілярно-пориною будовою цементної матриці. Більш того, існує думка [15, 17] про корисність напружень кристалізації, що поліпшують міцність спайки спонтанно зростаючих новоутворень. Очікувати різких відмінностей напруженого стану тверднучого гелю в різних умовах не доводиться через можливості релаксації напружень при деформації пор матеріалу [18].

Ще у 1980 р. Т. Гансен [3] встановив, що перші тріщини в бетоні з'являються у віці декількох діб, у той час як теоретичний період тріщиноутворення повинен був становити 5 тижнів. У цьому ж огляді було встановлено, що утворення тріщин залежить не тільки від величини усадки, але і від фізико-механічних властивостей бетону. Тріщиноустійкість у більшій мірі визначалася природою заповнювача. Заповнювачі великої пружності сприяли розвитку тріщиноутворення. За даними [4, 5] розтягуючі напруження в бетоні від усадки цементного каменю становлять 4,0...5,0 МПа. Величина цих напружень, обчислена авторами [14, 23], становить 12–16 МПа, тобто перевищує міцність матеріалу на розтяг. О.Я. Берг [2], який також досліджував усадкові напруження, встановив, що усадка, ідентична охолодженню бетону на 70 °С, викликає напруження, близькі до вказаних.

У монолітному бетоні природного тверднення важливу роль відіграють два види власних напружень:

а) напруження першого роду від градієнтів температурно-вологісних деформацій по перерізу елементів характеризуються певною орієнтацією залежно від геометричних обрисів конструкцій [1, 6]. Напруження першого роду часто називають механічними, оскільки вони визначаються методами теорії пружності;

б) структурні напруження другого роду від температурно-вологісних деформацій в анізотропній структурі бетону [1, 6]. Напруження другого роду певним чином орієнтовані

відносно поверхні частинок заповнювача. Для їх визначення, крім теорії пружності і пластичності, необхідний також аналіз структури матеріалу.

Вочевидь, що поля цих напружень дуже різні, але безсумнівне їх взаємне накладення і спільний вплив на суцільність конструкцій і релаксацію напружень у часі. Міцність і деформативність бетону залежать в основному від напружень першого і другого роду, тому критерій тріщиноутворення бетону необхідно визначати від їх спільної дії з урахуванням віку матеріалу і зони конструкції [3]. Більш того, при розгляді пружної задачі розвитку тріщиноутворення в бетонних елементах вважається справедливою аддитивність напружень першого і другого роду.

Як відомо, бетон є пружно-пластичним матеріалом [4, 5], і ця передумова справедлива лише частково. У будь-якому випадку, у виникненні тріщин велику роль відіграють пластичні властивості бетону. У зв'язку з поступовою зміною в часі вологісних деформацій розвиваються монотонно. Через їх тривалий розвиток напруження, які викликаються ними, значно релаксують у часі [2]. Таким чином, прояв пластичних властивостей бетону тут найповніший.

Мета

Метою роботи є дослідження напруженого стану модифікованого монолітного бетону природного тверднення. Завдання дослідження полягає в запобіганні виникненню технологічних тріщин в конструкціях від температурно-усадкових деформацій бетону в процесі його тверднення.

Методика

Для досягнення поставленої мети виконані дослідження формування мікроструктури модифікованої цементної матриці бетону з визначенням механізму зниження тріщиноутворення; визначені методи надійної оцінки деформативних характеристик бетону.

Результати

Розвиток внутрішніх напружень по-різному впливає на властивості бетону. При наростанні температурно-усадкових деформацій у часі

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

і, отже, при збільшенні структурних напружень у цементній оболонці навколо зерен заповнювача можуть розвиватися два протилежних процеси: зона пластичного плину або зона тріщин.

Можливість будь-якого з процесів залежить від міцності і пружних характеристик матеріалу. Використовуючи теорію міцності матеріалу [3–5], умова утворення пластичної зони навколо зерна заповнювача запишеться у вигляді

$$\tau_{\max} = \frac{V \cdot \Delta E(t)}{\frac{1+V}{K_1} + \frac{1-V}{K_2}} \leq \frac{k_{nn} R_t}{2}. \quad (1)$$

Умову початку утворення зони тріщин запишемо, використовуючи залежність Фере для міцності бетону на розтяг [2]

$$\sigma_T^{\max} = \frac{(1+2V) \cdot 0,5 \cdot \Delta E(t)}{\frac{1+V}{K_1} + \frac{1-V}{K_2}} = \frac{1}{2} \sqrt[3]{R_t^2}. \quad (2)$$

Звідси виразимо залежність ΔE :

а) з умови утворення пластичної зони –

$$\Delta E_{nl} = \frac{k_{nn} \cdot R_t}{2V} \cdot \left(\frac{1+V}{K_1} + \frac{1-V}{K_2} \right); \quad (3)$$

б) з умови утворення зони тріщин –

$$\Delta E_{mp} = \sqrt[3]{R_t^2} \left(\frac{\varphi}{K_1} + \frac{\xi}{K_2} \right). \quad (4)$$

Вочевидь, для позитивних температур граничні деформації тріщиноутворення завжди значно менше деформацій пластичного плину. В області нереальних складів бетону при $V > 0,8$ можливий прояв пластичного плину при низьких значеннях R/K , тому в подальшому слід розглядати лише умову тріщиноутворення як найбільш ймовірний наслідок об'ємних деформацій бетону.

Рівняння рівноваги для сферичного елемента, виділеного з оболонки навколо заповнювача, має вигляд [5]

$$2 \cdot (\sigma_p - \sigma_T) + r \frac{d\sigma_p}{dr} = 0 \quad (5)$$

де r – радіус оболонки елемента.

Для зони тріщин при $\sigma_T = 0$ після розділення змінних воно набуде вигляду

$$\frac{d\sigma_p}{\sigma_p} = -2 \frac{dr}{r} \quad (6)$$

Інтегруючи одержане рівняння у межах $a \leq r \leq r_T$, де r_T – радіус зони тріщин, знайдемо

$\ln \sigma_p = -2 \ln r + \ln H$. Звідси $\sigma_p = \frac{H}{r^2}$. Використовуючи граничні умови, визначимо довільну постійну інтегрування при $r = a$, $\sigma_p = \sigma_{pa}$.

Звідси, враховуючи $a = \frac{d}{2}$; $H = \frac{\sigma_{pa} \cdot d^2}{4}$, оста-

точно $\sigma_r = \sigma_{pa} \frac{d^2}{4r^2}$. Рівняння справедливе лише у межах зони тріщин.

Радіальні напруження на межі пружної зони і зони тріщин рівні між собою, а тангенціальні напруження при $r = r_T$ у границі рівні міцності матеріалу на розтяг у даний момент часу t : $\sigma_T(t) = R_p(t)$. З цієї умови можна визначити радіус зони тріщин

$$\sigma_t(\tau) = \frac{V \cdot \left(1 + 2 \frac{r_T^3}{\eta^3 d^3} \right) \Delta E(t)}{2 \frac{r_T^3}{\eta^3 d^3} \left(\frac{1+V}{K_1} + \frac{1-V}{K_2} \right) \times (1 + 0,5 \varphi_t)} = R_p. \quad (7)$$

Тут прийнято $b = \eta \cdot d$. При цьому коефіцієнт η може бути визначений за величиною відносного вмісту заповнювача в одиниці об'єму бетону V : $\eta = \frac{1}{2 \cdot \sqrt[3]{V}}$.

Радіус зони тріщин навкруги заповнювача дорівнює

$$r_T = \frac{d}{2} \times \sqrt[3]{2 \left\{ \left[\frac{R_p}{K_1} \cdot (1+V) + \frac{R_p}{K_2} \cdot (1-V) \right] - \Delta E_t \cdot V \right\}} \quad (8a)$$

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

З одержаної формули видно, що розмір зони тріщиноутворення збільшується зі збільшенням розміру частинок заповнювача (d) і деформацій $\Delta E(t)$. Залежність (8а) можна спростити,

приймаючи, наприклад, $K_I = K$ і $\frac{R_p}{K} = E_R$

$$r_T = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{\Delta E(t)}{4E_R(1+0,5\varphi_t) - 2\Delta E(t) \cdot V}} \quad (8б)$$

Виконаємо аналіз радіальних і тангенціальних напружень у пружній зоні оболонки заповнювача.

У теорії пружності розглянуто задачу про напружений стан в осесиметричних тілах, з якої відомо:

$$E_p = \frac{dU}{dr} = -\frac{2A}{r^3} + B, \quad (9а)$$

$$E_p = \frac{U}{r} = \frac{A}{r^3} + B, \quad (9б)$$

де U – радіальне зміщення даної точки елемента.

Напруження в розчинній оболонці, використовуючи узагальнений закон Гука, дорівнюють:

$$\sigma_p = \frac{E_1}{1-\mu_1-2\mu_1^2} [2\mu_1 E_T + (1-\mu_1) E_{p1}], \quad (10а)$$

$$\sigma_T = \frac{E_1}{1-\mu_1-2\mu_1^2} [E_T + \mu_1 E_p]. \quad (10б)$$

Підставляючи в рівняння (10) значення відносних деформацій з (9), отримаємо

$$\sigma_p = \frac{E_1}{1-\mu_1-2\mu_1^2} \times \left[-\frac{2A}{r^3} \cdot (1-2\mu_1) + B(1+\mu_1) \right], \quad (11а)$$

$$\sigma_T = \frac{E_1}{1-\mu_1-2\mu_1^2} \left[\frac{A}{r^3} \cdot (1-2\mu_1) + B(1+\mu_1) \right]. \quad (11б)$$

Для опису властивостей матеріалу, еквівалентного прийнятій структурній моделі, необхідно знайти сім постійних інтегрування, дійсних для кожного шару ($A, B, A_1, B_1, A_2, B_2,$

A_3). Для цього використовуються умови рівності на стику кожного шару елемента радіальних зсувів (9б) і напружень (11а) у вигляді

$$U = Ar + Br^{-2}, \quad \sigma_p = 3KA - 6\lambda \cdot K \cdot Br^{-3}, \quad (12)$$

де K – об'ємний модуль пружності матеріалу даного шару; λ – параметр поперечної пружності.

Наведені рівняння справедливі лише у шарах елемента вільних тріщин. Для зони тріщин, де приймається умова $\sigma_T = 0$, визначимо нові інтегральні форми рівнянь (12) з наступних умов.

При $\sigma_T = 0$ із загального закону Гука слідує:

$$E_p = \frac{\sigma_p}{E} \text{ або } E_T = -\mu \frac{\sigma_p}{E}. \quad (13)$$

Виразивши радіальну деформацію через переміщення $E_r = \frac{dU}{dr}$, знайдемо:

$$\sigma_p = \frac{dU}{dr} \cdot E. \quad (14)$$

Одержана залежність σ_p від U , а також рівняння рівноваги (5), дозволяють записати рівняння спільності деформацій на ділянці між тріщинами:

$$\frac{d^2U}{dr^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{dU}{dr} = 0. \quad (15)$$

Інтегрування отриманого диференційного рівняння другого порядку призводить до залежності:

$$U = A + Br^{-1}. \quad (16)$$

Для відшукування A і B необхідно в даному визначнику замінити відповідно перший і другий стовпці правою частиною рівнянь.

K_{\max} визначено з формули, одержаної з умови, що $r_T = a$

$$K_{\max} = \frac{K_1 K_2}{K_2 - (K_1 - K_2) \cdot V}. \quad (17)$$

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

При $V=0$ $K_{\max} = K_1$, а при $V=1,0$ $K_{\max} = K_2$.

Постійні інтегрування A і B дозволяють вирішувати цілу низку завдань. Вирази для визначення постійних при $r_T=0$ після елементарних спрощень мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{4}{3} \sigma_y \cdot 3b^3 - (1-V)/K_1 - V/K_2 \\ B &= -3\sigma_y b^3 \cdot \frac{K}{K_1} \end{aligned} \right\}. \quad (18)$$

Використовуючи ці значення в рівнянні (11) спільно з критерієм тріщиностійкості, а також залежність (17), можливо обчислити умови збереження суцільності матеріалу, що залежать від величини граничних усадкових деформацій бетону.

Запишемо рівняння тангенціальних напружень для випадку повного розкриття тріщини в розчинній оболонці $r_T = b$, а ΔE_y виразимо через граничну усадку розчину і об'ємне насичення бетону крупним заповнювачем. Тоді дійсні тангенціальні напруження з урахуванням їх релаксації дорівнюватимуть

$$\sigma_T = \frac{3V[\Delta E]}{2\left(\frac{1+V}{K_1} + \frac{1-V}{K_2}\right)S} = R_p, \quad (19)$$

де S – функція релаксації внутрішніх напружень, рівна для терміну тверднення 28 діб

$$S = 1 + 0,5\varphi_t \quad (20)$$

тут φ_t – характеристика повзучості, приймається для терміну тверднення бетону 28 діб рівною $\varphi = 2,0$.

Визначимо величину тангенціальних напружень як функцію об'ємного насичення бетону крупним заповнювачем

$$\sigma_T = \frac{3 \cdot E_p \cdot K \cdot V \cdot (1-V)}{2 \cdot S \cdot [(1-V) + nV] \times [(1+V) \cdot n + (1-V)]}, \quad (21)$$

де E_p – усадкова деформація розчинної оболонки бетону; n – відношення модулів

об'ємної пружності заповнювача і розчину $\left(n = \frac{K_2}{K_1}\right)$.

Для цього необхідно визначити похідну $d\sigma/dV$ і прирівняти її нулю. Однак, оскільки в загальному вигляді похідне рівняння досить громіздке, то це складне становище можна обійти, даючи величинам n певне значення і диференціюючи конкретне рівняння при даному значенні n . Наприклад, при $n=1$ тангенціальні напруження дорівнюють

$$\sigma_T = \frac{3 \cdot E_p \cdot K_2}{4 \cdot S} \cdot V \cdot (1-V).$$

Таким чином,

$$\frac{d\sigma}{dV} = \frac{3 \cdot E_p \cdot K_2}{4S} \cdot (1-2V) = 0,$$

звідки при $n=1$ $V_{opt} = 0,50$; аналогічно $n=2$; $V_{opt} = 0,38$.

Наукова новизна та практична значимість

1. Встановлено, що комплекс структурних особливостей модифікованого бетону при передачі навантаження призводить до формування широкої зони передруйнування, здатної поглинати значний об'єм пружної енергії деформації, що забезпечує отримання проектних деформативних властивостей бетону спеціального призначення.

2. Отримали подальший розвиток уявлення про визначення критерію тріщиноутворення модифікованого бетону, що твердне у природних умовах.

Отримані рівняння дозволяють вирішити питання про мінімальний рівень структурних напружень у монолітному бетоні при певному насиченні його крупним заповнювачем, а також оцінити вплив структурних напружень на властивості бетону. Це дозволить вирішити низку технологічних завдань при зведенні монолітних будівель.

Висновки

1. У звичайних бетонах з відносно тонкою цементною оболонкою при температурно-усадкових деформаціях виникають високі

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

тангенціальні і невеликі радіальні напруження. У природних умовах ці напруження вище в результаті підвищення значень $\Delta\epsilon(\tau)$, чого не спостерігається у модифікованих бетонах.

2. У модифікованих бетонах найбільшу небезпеку для структури становлять лише тангенціальні напруження.

3. Зміна усадкових напружень у часі має однозначний характер. Сумарні температурно-усадкові деформації мають пилкоподібний графік. Для модифікованого бетону амплітуда коливань на 48–53 % менше.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – Москва : АСВ, 2006. – 368 с.
2. Берг, О. Я. Физические основы теории прочности бетона / О. Я. Берг. – Москва : Стройиздат, 1981. – 290 с.
3. Гансен, Т. Ползучесть и релаксация напряжений в бетоне / Т. Гансен. – Москва : Стройиздат, 1980. – 169 с.
4. Нильсен, Л. Дж. Ударное нагружение бетонных конструкций : [пер. с англ.] / Л. Дж. Нильсен. – Москва, 1989. – 171 с.
5. Пирадов, К. А. Механика разрушения железобетона / К. А. Пирадов, Е. А. Гузеев. – Москва : Новый век, 1998. – 190 с.
6. Рабинович, Ф. Н. Композиты на основе дисперсноармированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции / Ф. Н. Рабинович. – Москва : АСВ, 2004. – 560 с.
7. Руденко, Д. В. Бетон на основі дисперсно модифікованої цементної системи / Д. В. Руденко // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 4 (64). – С. 169–175. doi: 10.15802/stp2016/78008.
8. Руденко, Д. В. Фізико-хімічна модифікація цементної системи монолітного бетону / Д. В. Руденко // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 6 (60). – С. 174–182. doi: 10.15802/stp2015/57103.
9. Руденко, Д. В. Технологія модифікованих бетонів для монолітних споруд / Д. В. Руденко // Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві : матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. / Харків. нац. ун-т буд-ва та архітектури. – Харків, 2016. – С. 90–91.
10. Руденко, Д. В. Модифіковані бетони для висотних споруд / Д. В. Руденко // Ефективні технології в будівництві : матеріали міжнар. наук.-техн. конф. / Київ. нац. ун-т буд-ва та архітектури. – Київ, 2016. – С. 107–108.
11. Хердтл, Р. Долговечность бетонов на основе многокомпонентных цементов / Р. Хердтл, М. Дитерманн, К. Шмидт // Цемент и его применение. – 2011. – № 1. – С. 76–80.
12. Collepardi, M. Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC / M. Collepardi // Workshop on New Technologies and Materials in Civil Engineering : Proc. – 2003. – P. 1–8.
13. Derucher, K. M. Composite materials: Testing and Design / K. M. Derucher. – New Orleans ; Philadelphia, 2009. – 697 p.
14. Hanehara, S. Rheology and early age properties of cement systems / S. Hanehara, K. Yamada // Cement and Concrete Research. – 2008. – Vol. 38. – Iss. 1. – P. 175–195. doi: 10.1016/j.cemconres.2007.09.006.
15. Lee, C. Y. Strength and microstructural characteristics of chemically activated fly ash-cement systems / C. Y. Lee, H. K. Lee, K. M. Lee // Cement and Concrete Research. – 2003. – Vol. 33. – Iss. 3. – P. 425–431. doi: 10.1016/S0008-8846(02)00973-0.
16. Microcracking of Plain Concrete and the Shape of the Stress Strain Curve / T. T. C. Hsu, F. O. Slate, G. Sturman, G. Winter // Intern. Concrete Abstracts Portal. – 1963. – Vol. 60. – Iss. 2. – P. 209–224. doi: 10.14359/7852.
17. Middendorf, B. Nanoscience and nanotechnology in cementitious materials / B. Middendorf, N. B. Singh // Cement International. – 2006. – № 4. – P. 80–86.
18. Neville, A. M. Wlasciwosci betonu / A. M. Neville. – Crakow : Polski Cement, 2000. – 874 p.
19. Rudenko, D. Properties of the phase components of the modified cement system / D. Rudenko // TEKA Kom. Mot. I Energ. Roln. – 2013. – T. 13, № 4. – P. 218–224.
20. Rudenko, N. The Development of Conception of New Generation Concretes / N. Rudenko // TEKA Kom. Mot. I Energ. Roln. – 2010. – T. 10B. – P. 128–133.
21. Rudenko, N. Technology of shotcreting based on activated binder / N. Rudenko // TEKA Kom. Mot. i Energ. Roln. – 2014. – T. 14, № 1. – P. 222–228.
22. Santiago, S. D. Fracture Mechanism of Concrete under Compressive Loads / S. D. Santiago, H. K. Hilsdorf // Cement and Concrete Research.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- 1973. – Vol. 3. – Iss. 4. – P. 363–388. doi: 10.1016/0008-8846(73)90076-8. Rodney Hill 60th Anniversary Volume. – P. 653–686. doi: 10.1016/B978-0-08-025443-2.50025-2.
23. Willis, J. R. Elasticity theory of composites / J. R. Willis. // Mechanics of Solids. – 1982. – The

Д. В. РУДЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Городское строительство и хозяйство», Запорожская государственная инженерная академия, пр. Соборный, 226, Запорожье, Украина, 69006, тел. +38 (098) 214 04 85, эл. почта veberc@ukr.net, ORCID 0000-0003-0827-042X

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО МОНОЛИТНОГО БЕТОНА

Цель. Статья посвящена исследованию напряженного состояния модифицированного монолитного бетона естественного твердения. **Методика.** Для достижения поставленной цели проведены исследования микроструктуры модифицированной цементной матрицы бетона, механизма структурообразования модифицированного бетона естественного твердения; определены методы надежной оценки прочности бетона. **Результаты.** Развитие внутренних напряжений по-разному влияет на свойства бетона. При нарастании температурно-усадочных деформаций во времени и, следовательно, при увеличении структурных напряжений в цементной оболочке вокруг зерен заполнителя могут развиваться два противоположных процесса: зона пластического течения или зона трещин. **Научная новизна.** Установлено, что комплекс структурных особенностей модифицированного бетона при передаче нагрузки приводит к формированию обширной зоны предразрушения, способной поглощать значительный объем упругой энергии деформации, что обеспечивает получение проектных деформативных свойств бетона специального назначения. Получили дальнейшее развитие представления об определении критерия трещинообразования модифицированного бетона, твердеющего в естественных условиях. **Практическая значимость.** Полученные уравнения позволяют решить задачу о минимальном уровне структурных напряжений в монолитном бетоне при определенном насыщении его крупным заполнителем, а также оценить влияние структурных напряжений на свойства бетона. В обычных бетонах с относительно тонкой цементной оболочкой при температурно-усадочных деформациях возникают высокие тангенциальные и небольшие радиальные напряжения. В естественных условиях эти напряжения выше в результате повышения значений $\Delta\epsilon(t)$, чего не наблюдается в модифицированных бетонах. В модифицированных бетонах наибольшую опасность для структуры представляют только тангенциальные напряжения. Изменение усадочных напряжений во времени имеет однозначный характер. Суммарные температурно-усадочные деформации имеют пилообразный график. Для модифицированного бетона амплитуда колебаний на 48...53 % меньше. Это позволит решить ряд технологических задач при возведении монолитных зданий.

Ключевые слова: модифицированный бетон; монолитный бетон; напряженное состояние; деформативные характеристики

D. V. RUDENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Urban Construction and Management», Zaporizhzhia State Engineering Academy, Lenin Av., 226, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (098) 214 04 85, e-mail veberc@ukr.net, ORCID 0000-0003-0827-042X

RESEARCH OF THE STRESS STATE OF A MODIFIED IN-SITU CONCRETE

Purpose. The article focuses on investigation of the stress state of a modified in-situ concrete of natural hardening. **Methodology.** To achieve the aim, the research of the microstructure of the modified cement matrix of concrete, as well as the mechanism of structure formation of modified concrete with natural hardening was conducted; the methods for reliable evaluation of concrete strength were defined. **Findings.** The development of internal stresses affects the properties of concrete differently. With an increase in temperature-shrinkage deformations in time and, thus, with increasing structural stresses in the cement sheath around the grains of the filler two opposite processes may develop: zone of plastic flow or cracking. **Originality.** It was established that the

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

structural features complex of the modified concrete when the load transfer leads to the formation of extensive zones of prefracture which is able to absorb a significant amount of elastic strain energy that provides the design deformation properties of the concrete for special purposes. Ideas about the definition of the criteria of cracking modified concrete, hardening under natural conditions had further development. **Practical value.** The resulting equations allow to solve the problem about the minimum level of structural stress in monolithic concrete in a saturated large placeholder, as well as to assess the influence of structural stresses on the properties of concrete. In normal concrete with a relatively thin cement sheath at temperature-shrinkage deformations, high tangential and low radial tension occur. In vivo, this stress is higher as a result of higher values of $\Delta\varepsilon(\tau)$, which is not observed in the modified concrete. In the modified concretes only tangential stresses are the greatest danger to structures. The change of shrinkage stress with time is straightforward. The total temperature-shrinkage deformations have a sawtooth graph. For modified concrete the amplitude is 48...53% less. This will allow solving a number of technological challenges in the construction of monolithic buildings.

Keywords: modified concrete; in-situ concrete; stress state; deformation characteristics

REFERENCES

1. Bazhenov Yu.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. *Modifitsirovannyye vysokokachestvennyye betony* [Modified high-quality concretes]. Moscow, ASV Publ., 2006. 368 p.
2. Berg O.Ya. *Fizicheskiye osnovy teorii prochnosti betona* [Physical foundations of the theory of concrete strength]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1981. 290 p.
3. Gansen T. *Polzuchest i relaksatsiya napryazheniy v betone* [Creep and stress relaxation in concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980. 169 p.
4. Nilssen L.Dzh. *Udarnoye nagruzheniye betonnykh konstruksiy* [Shock loading of concrete structures]. Moscow, 1989. 171 p.
5. Piradov K.A., Guzeyev Ye.A. *Mekhanika razrusheniya zhelezobetona* [Fracture mechanics of concrete]. Moscow, Novyy vek Publ., 1998. 190 p.
6. Rabinovich F.N. *Kompozity na osnove dispersnoarmirovannykh betonov. Voprosy teorii i proyektirovaniya, tekhnologiya, konstruksii* [Composites based on fiber reinforced concrete. Questions of the theory and design, technology, construction]. Moscow, ASV Publ., 2004. 560 p.
7. Rudenko D.V. Beton na osnovi dyspersno modyfikovanoi tsementnoi systemy [Concrete based on modified disperse cement system]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2016, no. 4 (64), pp. 169-175. doi: 10.15802/stp2016/78008.
8. Rudenko D.V. Fyzyko-khimichna modyfikatsiia tsementnoi systemy monolitnoho betonu [Physico-chemical modification of monolithic concrete cement system]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 6 (60), pp. 174-182. doi: 10.15802/stp2015/57103.
9. Rudenko D.V. Tekhnolohiia modyfikovanykh betoniv dlia monolitnykh sporud [Technology of modified concrete for monolithic structures]. *Materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Efektyvni orhanizatsiino-tekhnologichni rishennia ta enerhozberihaiuchi tekhnolohii v budivnytstvi»* [Proc of VIth Intern. Sci. and Practical Conf. «Effective organizational and technological solutions and energy saving technologies in construction»]. Kharkiv, 2016, pp. 90-91.
10. Rudenko D.V. Modyfikovani betony dlia vysotnykh sporud [Modified concrete for high-rise buildings]. *Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Efektyvni tekhnolohii v budivnytstvi»* [Proc. of Intern. Sci. and Practical Conf. «Efficient technologies in construction»]. Kyiv, 2016, pp. 107-108.
11. Kherdtl R., Ditermann M., Shmidt K. Dolgovechnost betonov na osnove mnogokomponentnykh tsementov [Durability of concrete based on multicomponent cements]. *Tsement i yego primeneniye – Cement and its Applications*, 2011, no. 1, pp. 76-80.
12. Collepardi M. Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC. Workshop on New Technologies and Materials in Civil Engineering: Proc., 2003, pp. 1-8.
13. Derucher K.M. Composite materials: Testing and Design. New Orleans-Philadelphia, 2009. 697 p.
14. Hanehara S., Yamada K. Rheology and early age properties of cement systems. *Cement and Concrete Research*, 2008, vol. 38, issue 1, pp. 175-195. doi: 10.1016/j.cemconres.2007.09.006.
15. Lee C.Y., Lee H.K., Lee K.M. Strength and microstructural characteristics of chemically activated fly ash-cement systems. *Cement and Concrete Research*, 2003, vol. 33, issue 3, pp. 425-431. doi: 10.1016/S0008-8846(02)00973-0.
16. Hsu T.T.C., Slate F.O., Sturman G., Winter G. Microcracking of Plain Concrete and the Shape of the Stress Strain Curve. *Intern. Concrete Abstracts Portal*, 1963, vol. 60, issue 2, pp. 209-224. doi: 10.14359/7852.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

17. Middendorf B., Singh N.B. Nanoscience and nanotechnology in cementitious materials. *Cement International*, 2006, no. 4, pp. 80-86.
18. Neville A.M. Wlasciwosci betonu. Crakow , Polski Cement Publ., 2000. 874 p.
19. Rudenko D. Properties of the phase components of the modified cement system. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, 2013, Vol. 13, No. 4, pp. 218-224.
20. Rudenko N. The Development of Conception of New Generation Concretes. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, 2010, vol. 10B, pp. 128-133.
21. Rudenko N. Technology of shotcreting based on activated binder. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, 2014, Vol. 14, No. 1, pp. 222-228.
22. Santiago S.D., Hilsdorf H.K. Fracture Mechanism of Concrete under Compressive Loads. *Cement and Concrete Research*, 1973, vol. 3, issue 4, pp. 363-388. doi: 10.1016/0008-8846(73)90076-8.
23. Willis J.R. Elasticity theory of composites. *Mechanics of Solids*, 1982, The Rodney Hill 60th Anniversary Volume, pp. 653-686. doi: 10.1016/B978-0-08-025443-2.50025-2.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. А. Банахом (Україна), д.т. н., проф. М. І. Нетесою (Україна)

Надійшла до редколегії: 08.09.2016

Прийнята до друку: 07.12.2016

**Тематичний покажчик журналу «Наука та прогрес транспорту.
Вісник Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту» за 2016 рік**

Назва статті	№ журналу	Стор.
Ювіляри		
80 років Шафрану Леоніду Мойсейовичу	1	7
Пам'ятні дати		
Вчений-динамік і динамічна людина. До 80-річчя професора Віктора Даниловича Дановича. <i>С. В. Мямлін</i>	5	7
Інженер, механік, вчений. До 80-річчя з дня народження професора Савчука Ореста Макаровича. <i>С. В. Мямлін, С. С. Довганюк</i>	5	12
Наука та прогрес транспорту		
Розвиток напрямку «Кондиціонування повітря» на залізничному транспорті: наукометричний аспект. <i>Т. О. Колесникова, О. В. Помінова, С. Р. Колесников</i>	3	7
Автоматизовані системи управління на транспорті		
Підвищення точності визначення положення поїзда на ділянці наближення до переїзду. <i>В. І. Гаврилюк, О. М. Возняк, В. В. Мелешко</i>	1	9
Про метод розрахунку рейкових кіл із урахуванням властивостей феромагнетиків в умовах впливу завад тягового струму. <i>А. Ю. Журавльов</i>	1	19
Уніфікований метод перевірки електромагнітної сумісності між рухомих складом та системою виявлення поїзда. <i>А. Бялонь, Д. Адамські, Ю. Фурман</i>	3	20
Управління, контроль, документація системи сигналізації та її безпека. <i>М. Кіцко</i>	3	28
Управління швидкістю скочування відчепів при зменшенні гальмівної потужності уповільнювачів. <i>Д. М. Козаченко, В. І. Бобровський, С. В. Гревцов, М. І. Березовий</i>	3	41
Моделювання пристроїв зв'язку, що забезпечують безпеку на залізницях. <i>М. Франекова, П. Люлей</i>	5	15
Контроль механічних параметрів нейтральних реле залізничної автоматики на основі вейвлет-аналізу. <i>В. І. Гаврилюк</i>	6	7
Екологія на транспорті		
Експрес-метод оцінки потенційного територіального ризику при аваріях на транспорті. <i>М. М. Біляєв, Л. Я. Мунтян</i>	1	30
CFD моделювання аероіонного режиму в робочих зонах в умовах штучної іонізації повітря. <i>М. М. Біляєв, С. Г. Циганкова</i>	1	39
Захист атмосфери у випадку аварії при транспортуванні небезпечних вантажів. <i>О. В. Берлов</i>	1	48
Чисельне моделювання розповсюдження хімічно небезпечної речовини при аварії на залізниці. <i>М. М. Біляєв, Л. Я. Мунтян</i>	2	7

Комплекс чисельних моделей для розрахунку концентрації аероіонів у приміщеннях.		
<i>М. М. Біляєв, С. Г. Циганкова</i>	2	16
Моніторинг радіоактивності студентського містечка ДНУЗТ.		
<i>Л. Ф. Долина, В. П. Кільовий, Д. В. Астахов, М. В. Калимбет</i>	3	49
Вплив віброакустичних параметрів рухомого складу на вибір раціональних значень ходової частини локомотива.		
<i>Ю. В. Зеленько, Л. О. Недужа, А. О. Швець</i>	3	60
Дослідження осадження домішок у горизонтальному відстійнику.		
<i>В. А. Козачина</i>	4	7
Моделі оцінки рівня забруднення атмосфери при транспортуванні сипучих вантажів.		
<i>М. М. Біляєв, М. О. Оладіно</i>	5	22
Проблема знесення вугільного пилу.		
<i>М. М. Біляєв, М. О. Оладіно</i>	6	17
Чисельні моделі для прогнозу забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту.		
<i>М. М. Біляєв, О. С. Славінська, Р. В. Кириченко</i>	6	25

Економіка та управління

Напрямки розвитку екстремального туризму в Україні.		
<i>Л. В. Марценюк</i>	1	55
Стратегія інноваційної діяльності промислових підприємств.		
<i>М. С. Кравченко, Н. В. Марченко</i>	2	25
Страховий ринок України: сучасний стан та проблеми розвитку.		
<i>Л. В. Марценюк, О. В. Чорновіл, К. В. Біла, А. О. Удовиченко, Ануп Кумар Шарма</i>	2	36
Вдосконалення системи теплопостачання студмістечка Уманського національного університету садівництва.		
<i>А. Ф. Головчук</i>	3	76
Підвищення ефективності роботи системи теплопостачання інфраструктури громадських будівель на прикладі ДНУЗТ.		
<i>О. М. Пишійко, В. Г. Кузнєцов, Д. К. Яценко, В. О. Габрінець</i>	3	97
Застосування рейтингових моделей та інформаційних технологій для управління адміністративно-територіальними комплексами.		
<i>О. М. Пишійко, В. В. Скалозуб</i>	6	33
Розвиток системи управління якістю послуг пасажирських перевезень підприємств залізничного транспорту.		
<i>М. В. Руденко</i>	6	48
Техніко-економічна оцінка використання коліс перспективної конструктивної схеми для рейкових екіпажів.		
<i>С. О. Семенов, Є. В. Михайлов, О. Г. Рейдемейстер</i>	6	61
Презентація концентрації вантажного залізничного ринку щодо газового ринку за допомогою індексу Херфіндала-Хіршмана.		
<i>Б. Фаркас</i>	6	69

Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Удосконалення технології ремонту спеціалізованих вантажних вагонів.		
<i>В. М. Бубнов, І. Ю. Кебал, М. Б. Манкевич</i>	1	62
Визначення енергозощаджуючих режимів ведення поїздів.		
<i>Д. М. Кислий</i>	1	71
Дослідження структури вагонопотоків по прибутті та відправленні сортувальної станції Х.		
<i>Г. І. Нестеренко, М. І. Музикін, В. Л. Горобець, С. І. Музикіна</i>	1	85
Дослідження пропускної спроможності сортувальної станції.		
<i>С. І. Музикіна, М. І. Музикін, Г. І. Нестеренко</i>	2	47

Визначення поглинання енергії гасителем коливань вантажного вагона в аварійному режимі руху. <i>Я. В. Болжселарський, Ю. Г. Соболевська, С. С. Довганюк, А. В. Батіг</i>	4	15
Удосконалення технології роботи Білоруської залізниці в умовах застосування електронних документів. <i>М. М. Колос, М. А. Гончар</i>	4	24
Дослідження впливу технічного стану гальмових уповільнювачів на переробну спроможність сортувальних гірок. <i>Д. М. Козаченко, С. В. Гревцов, Т. В. Болвановська</i>	4	37
Зниження швидкості відчепів на початку сортувальних колій, оснащених системою розподіленого регулювання швидкості. <i>О. А. Назаров</i>	4	47
Розрахунок оптимальних інтервалів для вибору режимів взаємодії станцій та колій незагального користування. <i>І. О. Словий, Є. М. Потилкін</i>	5	30
Використання мікроконтролера для вимірювання частоти обертання вала гідравлічної передачі тепловоза. <i>І. В. Жуковицький, І. А. Ключник</i>	5	43
Прогнозування оцінки характеристик нових транспортних засобів. <i>О. С. Крашенінін, О. В. Клименко, О. В. Пономаренко</i>	6	79

Електричний транспорт

Аналіз питань енергозбереження та енергоефективності під час експлуатації рухомого складу метрополітену. <i>А. В. Донченко, А. О. Сулим, О. С. Сіора, О. О. Мельник, В. В. Федоров</i>	3	108
Модель процесу реалізації тягової сили двигуна магнітолевітуючого поїзда. <i>В. О. Поляков, М. М. Хачапурідзе</i>	4	55
Енергозбереження при експлуатації в локомотивних депо пристроїв із нерегульованим електроприводом. <i>Л. В. Дубинець, О. Л. Маренич, О. Ю. Балійчук, А. С. Кортогуз</i>	5	54
Автоматизований вимірювальний комплекс для виконання приймально-здавальних випробувань тягових електродвигунів постійного та пульсуючого струму. <i>А. Ю. Друбецький</i>	6	88

Залізнична колія

Моделювання процесу розвитку вертикальних деформацій залізничної колії. <i>Д. М. Курган</i>	1	100
Встановлення допустимих швидкостей руху поїздів по криволінійних стрілочних переводах. <i>О. М. Патласов, С. О. Токарев, Є. О. Патласов</i>	2	98
Обґрунтування вибору моделі зміни діелектричних властивостей несучільних систем. <i>Л. В. Трикоз, І. В. Багіяни</i>	3	120
Дослідження передчасного руйнування залізобетонних шпал на магістральних коліях ПАТ «Укрзалізниця». <i>В. В. Коваленко</i>	4	63
Перспективи укладання скріплення типу СКД 65-Б в кривих ділянках колії малого радіуса. <i>М. П. Настечик, Р. В. Маркуль</i>	4	71
Експериментальні дослідження взаємодії колії та рухомого складу в межах з'їзду. <i>М. А. Арбузов, О. М. Патласов, С. О. Токарев</i>	5	64

Розрахунок характеристик жорсткості та пружності рейкової нитки при крученні під дією вертикальних і горизонтальних сил. <i>Е. І. Даніленко</i>	5	79
Дослідження аеродинамічного тиску при проходженні високошвидкісного поїзда. <i>С. Т. Джаббаров</i>	5	92
Основи математичного опису хвильової моделі поширення напружень у залізничній колії. <i>Д. М. Курган</i>	5	101
Жорсткість прикріплювачів проміжних скріплень дерев'яних шпал при дії горизонтальних поперечних сил. <i>О. М. Даренський, Ю. Л. Тулей, Д. О. Потапов, А. С. Малішевська</i>	6	96

Інформаційно-комунікаційні технології та математичне моделювання

Конструктивна модель адаптації структур даних в оперативній пам'яті: Частина І. Конструювання текстів програм. <i>В. І. Шинкаренко, Г. В. Забула</i>	1	109
Модель автоматизованої системи підтримки прийняття рішень диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом. <i>В. А. Лахно, В. М. Собченко</i>	2	61
Аналіз графіка виконаного руху в інформаційній системі ПАТ «Укрзалізниця»: перспективи розвитку. <i>С. М. Овчаренко</i>	2	70
Про виконання складних операцій у непозиційній системі числення залишкових класів. <i>Ю. Д. Поліський</i>	2	78
Конструктивна модель адаптації структур даних в оперативній пам'яті: Частина ІІ. Конструктори сценаріїв і процесів адаптації. <i>В. І. Шинкаренко, Г. В. Забула</i>	2	88
Про перетворення представлення чисел у залишках із однієї системи модулів в іншу. <i>Ю. Д. Поліський</i>	3	130
Моделювання модифікованого методу аналізу ієрархій засобами конструктивно-продукційних структур. <i>Т. М. Васецька</i>	4	81
Моделювання температурних полів у твердотільних теплових акумуляторах. <i>С. С. Беліменко, В. О. Іщенко, В. О. Габрінець</i>	5	114
Конструктивне моделювання зони розподілу енергії рекуперації тяги постійного струму. <i>В. І. Шинкаренко, О. І. Саблін, О. П. Іванов</i>	5	125
Прогнозування обсягу мережевого трафіку в інформаційно-телекомунікаційній системі Придніпровської залізниці на основі нейронечіткої мережі. <i>В. М. Пахомова</i>	6	105

Матеріалознавство

Вплив хімічного складу високохромистих чавунів на оброблюваність різанням. <i>В. В. Нетребко</i>	1	122
Вплив температури самовідпуску на міцність диска залізничного колеса після прискореного охолодження. <i>Л. І. Вакуленко, Д. М. Болотова, С. В. Пройдак, М. А. Грищенко, І. О. Вакуленко</i>	2	109
До питання утворення карбідів Fe_3C та Fe_7C_3 у високохромистих чавунах. <i>В. В. Нетребко</i>	3	138

Переваги експрес-методу визначення маси окалини і зневугледьованого шару бунтового прокату.		
<i>Е. В. Парусов, О. Б. Сичков, С. І. Губенко, І. М. Чуйко, Л. В. Сагура</i>	4	96
Умови забезпечення якості відновлених наплавленням залізничних коліс.		
<i>О. А. Гайворонський</i>	5	136
Вплив хімічного складу чавуну на розподіл Mn поміж фазами.		
<i>В. В. Нетребко, І. П. Волчок</i>	6	115

Нетрадиційні види транспорту. Машини та механізми

Дослідження залежності потужності приводу стрічкового конвеєру від його проектних параметрів.		
<i>В. М. Богомаз</i>	1	131
Особливості коливань приводних механізмів роторів.		
<i>В. С. Ловейкін, Ю. В. Човнюк, А. П. Ляшко</i>	1	147
Обґрунтування центруючої здатності нової конструкції барабанів стрічкових конвеєрів.		
<i>В. В. Суглобов, С. В. Ракша, П. А. Гринько</i>	1	158
Оцінка живучості металоконструкцій при моделюванні факторів експлуатації.		
<i>О. М. Гібаленко, Т. С. Трофимчук</i>	2	119
Обґрунтування раціональних кінематичних характеристик формувального вібростолу.		
<i>П. Г. Анофрієв</i>	6	124
Аналіз впливу проектних характеристик похилого ківшового елеватора на потужність його приводу.		
<i>В. М. Богомаз, М. В. Боренко, С. В. Пацановський, О. О. Ткачов</i>	6	136

Рухомий склад і тяга поїздів

Методологічні основи визначення експлуатаційних характеристик несамохідного рухомого складу.		
<i>Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, А. А. Міщенко</i>	1	169
Визначення допустимих сил при оцінюванні стійкості вантажних вагонів від вичавлювання в поїздах.		
<i>А. О. Швець, К. І. Желєзнов, А. С. Акулов, О. М. Заболотний, Є. В. Чабанюк</i>	1	180
Застосування програмного комплексу APM Winmachine при проектуванні та розрахунках у машинобудуванні.		
<i>Л. О. Недужа, А. О. Швець</i>	2	129
Модернізація як спосіб поліпшення використання універсальних вагонів.		
<i>О. Г. Рейдемейстер, В. О. Калашник, О. А. Шикунів</i>	2	148
Залежність властивостей пневматичної ресори від пневматичного опору дроселя.		
<i>О. Г. Рейдемейстер, А. В. Ківішева</i>	2	157
Про форму кривої наповнення гальмівних циліндрів у вантажних поїздах.		
<i>Л. В. Урсуляк, Г. Вайчіунас, Я. М. Романюк, В. Петренко, К. С. Степченкова</i>	2	165
До питання продовження корисного терміну служби вагонів для перевезення окатишів.		
<i>В. Г. Анофрієв, О. Г. Рейдемейстер, В. О. Калашник, В. П. Кулєшов</i>	3	148
Співвідношення між опором коченню та ковзанню в підшипниках кочення.		
<i>Л. М. Бондаренко, М. О. Баб'як, С. О. Яковлев, С. О. Істін, Г. Ю. Москальов</i>	3	161
Моделювання зіткнень вагонів при сухому терті в опорах вантажу.		
<i>С. М. Васільєв, А. Д. Желєзняков, Л. П. Целковікова</i>	4	116
Стендові каткові випробування в Чеському технічному університеті.		
<i>Я. Калівода, П. Бауер</i>	4	125

Математична модель коливань колісної пари з незалежним обертанням коліс в горизонтальній площині. <i>С. В. Мямлін, О. А. Кирильчук, В. С. Метиженко</i>	4	134
Використання шестигранних суцільнометалевих самостопорних FS-гайок у рухомому складі залізниць ширини колії 1 520 мм. <i>Р. Крайс, В. С. Лісничий</i>	5	152
Ймовірісно-фізичний підхід для описання та визначення надійності вагонів. <i>Л. А. Мурадян</i>	5	168

Транспортне будівництво

Взаємозв'язок між технологічними факторами та основними властивостями механоактивованих дрібнозернистих бетонів. <i>В. І. Большаков, М. О. Єлісєєва, С. А. Щербак</i>	1	193
Структурутворення в бетонах підрейкових основ. <i>В. В. Коваленко, Ю. Л. Заяць, П. О. Пишнько, С. В. Коваленко</i>	2	174
Вплив звернення матриці на складність методу кінцевих елементів. <i>М. Сибіс, А. Смочкевич-Войцеховська, А. Шимчак-Грачік</i>	2	190
Напруга сталеві труби, прокладеної в умовах недосконалості труб та неоднорідності ґрунту. <i>К. Горські, Р. Л. Ігнатович</i>	3	171
Взаємно однозначні нелінійні перетворення простору з тотожною площиною. <i>А. Д. Малий, Т. В. Ульянов, А. С. Щербак, Ю. Я. Попудняк, Т. В. Старосольська</i>	3	181
Зниження рівня корозійної небезпеки при раціональному конструюванні металоконструкцій. <i>О. М. Гібаленко</i>	4	141
Експериментальне дослідження розподілу горизонтального тиску на гофровані сталеві стінки силосу. <i>В. В. Качуренко, Д. О. Банніков</i>	4	151
Оцінка впливу укріплення земляного полотна ґрунтоцементними елементами. <i>В. Д. Петренко, О. Л. Тютькін, І. О. Святко</i>	4	161
Бетон на основі дисперсно модифікованої цементної системи. <i>Д. В. Руденко</i>	4	169
Особливості комплексу буровибухових робіт при будівництві Бескидського тунелю. <i>В. Д. Петренко, О. Л. Тютькін, С. Т. Проскурня</i>	5	178
Типи просторових структурно-вантових сталезалізобетонних конструкцій. <i>Г. М. Гасій</i>	6	158
Дослідження напруженого стану модифікованого монолітного бетону. <i>Д. В. Руденко</i>	6	166

**Тематический указатель журнала «Наука и прогресс транспорта.
Вестник Днепропетровского национального университета
железнодорожного транспорта» за 2016 год**

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Юбиляры		
80 лет Шафрану Леониду Моисеевичу	1	7
Памятные даты		
Ученый-динамик и динамичный человек. К 80-летию профессора Виктора Даниловича Дановича. <i>Мямлин С. В.</i>	5	7
Инженер, механик, ученый. К 80-летию со дня рождения профессора Савчука Ореста Макаровича. <i>С. В. Мямлин, С. С. Довганюк</i>	5	12
Наука и прогресс транспорта		
Развитие направления «кондиционирование воздуха» на железнодорожном транспорте: наукометрический аспект. <i>Т. А. Колесникова, О. В. Поминова, С. Р. Колесников</i>	3	7
Автоматизированные системы управления на транспорте		
Повышение точности определения положения поезда на участке приближения к переезду. <i>В. И. Гаврилюк, О. М. Возняк, В. В. Мелешко</i>	1	9
О методах расчета рельсовых цепей с учетом свойств ферромагнетиков в условиях влияния помех тягового тока. <i>А. Ю. Журавлев</i>	1	19
Унифицированный метод проверки электромагнитной совместимости между подвижным составом и системой обнаружения поезда. <i>А. Бялонь, Д. Адамски, Ю. Фурман</i>	3	20
Управление скоростью скатывания отцепов при уменьшении тормозной мощности замедлителей. <i>Д. Н. Козаченко, В. И. Бобровский, С. В. Гревцов, Н. И. Березовый</i>	3	28
Управление, контроль, документация системы сигнализации и ее безопасность. <i>М. Кицко</i>	3	41
Моделирование устройств связи, обеспечивающих безопасность на железных дорогах. <i>М. Франекова, П. Люлей</i>	5	15
Контроль механических параметров нейтрального реле железнодорожной автоматики на основе вейвлет-анализа. <i>В. И. Гаврилюк</i>	6	7
Экология на транспорте		
Экспресс-метод оценки потенциального территориального риска при авариях на транспорте. <i>Н. Н. Беляев, Л. Я. Мунтян</i>	1	30
CFD моделирование аэроионного режима в рабочих зонах в условиях искусственной ионизации воздуха. <i>Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова</i>	1	39
Защита атмосферы в случае аварии при транспортировке опасных грузов. <i>А. В. Берлов</i>	1	48
Численное моделирование распространения химически опасного вещества при аварии на железной дороге. <i>Н. Н. Беляев, Л. Я. Мунтян</i>	2	7

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Комплекс численных моделей для расчета концентрации аэроионов в помещениях. <i>Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова</i>	2	16
Мониторинг радиоактивности студенческого городка ДНУЖТ. <i>Л. Ф. Долина, В. П. Килевой, Д. В. Астахов, Н. В. Калимбет</i>	3	49
Влияние виброакустических параметров подвижного состава на выбор рациональных значений ходовой части локомотива. <i>Ю. В. Зеленько, Л. А. Недужая, А. А. Швец</i>	3	60
Исследование осаждения примесей в горизонтальном отстойнике. <i>В. А. Козачина</i>	4	7
Модели оценки уровня загрязнения атмосферы при транспортировке сыпучих грузов. <i>Н. Н. Беляев, М. О. Оладипо</i>	5	22
Проблема уноса угольной пыли. <i>Н. Н. Беляев, М. О. Оладипо</i>	6	17
Численные модели для прогноза загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта. <i>Н. Н. Беляев, Е. С. Славинская, Р. В. Кириченко</i>	6	25
Экономика и управление		
Направления развития экстремального туризма в Украине. <i>Л. В. Марценюк</i>	1	55
Стратегия инновационной деятельности промышленных предприятий. <i>М. С. Кравченко, Н. В. Марченко</i>	2	25
Страховой рынок Украины: современное состояние и проблемы развития. <i>Л. В. Марценюк, Е. В. Черновол, Е. В. Белая, А. А. Удовиченко, Ануп Кумар Шарма</i>	2	36
Усовершенствование системы теплоснабжения студгородка Уманского национального университета садоводства. <i>А. Ф. Головчук</i>	3	76
Повышение эффективности работы системы теплоснабжения инфраструктуры общественных зданий на примере ДНУЖТ. <i>А. Н. Пишинько, В. Г. Кузнецов, Д. К. Яценко, В. А. Габринец</i>	3	97
Применение рейтинговых моделей и информационных технологий для управления административно-территориальными комплексами. <i>А. Н. Пишинько, В. В. Скалозуб</i>	6	33
Развитие системы управления качеством услуг пассажирских перевозок предприятий железнодорожного транспорта. <i>М. В. Руденко</i>	6	48
Технико-экономическая оценка использования колес перспективной конструктивной схемы для рельсовых экипажей. <i>С. А. Семенов, Е. В. Михайлов, А. Г. Рейдемейстер</i>	6	61
Презентация концентрации грузового железнодорожного рынка в отношении газового рынка с помощью индекса Херфиндаля-Хиршмана. <i>Б. Фаркас</i>	6	69
Эксплуатация и ремонт средств транспорта		
Совершенствование технологии ремонта специализированных грузовых вагонов. <i>В. М. Бубнов, И. Ю. Кебал, Н. Б. Манкевич</i>	1	62
Определение энергосберегающих режимов ведения поездов. <i>Д. Н. Кислый</i>	1	71
Исследование структуры вагонопотоков по прибытию и отправлению сортировочной станции Х. <i>Г. И. Нестеренко, М. И. Музыкин, В. Л. Горобец, С. И. Музыкаина</i>	1	85

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Исследование пропускной способности сортировочной станции. <i>С. И. Музыкина, М. И. Музыкин, Г. И. Нестеренко</i>	2	47
Определение поглощения энергии гасителем колебаний грузового вагона в аварийном режиме движения. <i>Я. В. Болжеларский, Ю. Г. Соболевская, С. С. Довганюк, А. В. Батиг</i>	4	15
Совершенствование технологии работы белорусской железной дороги в условиях применения электронных документов. <i>М. М. Колос, М. А. Гончар</i>	4	24
Исследование влияния технического состояния тормозных замедлителей на перерабатывающую способность сортировочных горок. <i>Д. Н. Козаченко, С. В. Гревцов, Т. В. Болвановская</i>	4	37
Снижение скорости отцепов в начале сортировочных путей, оснащенных системой распределенного регулирования скорости. <i>А. А. Назаров</i>	4	47
Расчет оптимальных интервалов для выбора режимов взаимодействия станций и путей необщего пользования. <i>И. А. Еловой, Е. Н. Потылкин</i>	5	30
Использование микроконтроллера для измерения частоты вращения вала гидравлической передачи тепловоза. <i>И. В. Жуковицкий, И. А. Ключник</i>	5	43
Прогнозирование оценки характеристик новых транспортных средств. <i>А. С. Крашенинин, А. В. Клименко, Е. В. Пономаренко</i>	6	79
Электрический транспорт		
Анализ вопросов энергосбережения и энергоэффективности при эксплуатации подвижного состава метрополитена. <i>А. В. Донченко, А. А. Сулим, А. С. Сиора, А. А. Мельник, В. В. Федоров</i>	3	108
Модель процесса реализации тяговой силы двигателя магнитолевитирующего поезда. <i>В. А. Поляков, Н. М. Хачапуридзе</i>	4	55
Энергосбережение при эксплуатации в локомотивном депо устройств с нерегулируемым электроприводом. <i>Л. В. Дубинец, О. Л. Маренич, А. Ю. Балийчук, А. С. Кортогуз</i>	5	54
Автоматизированный измерительный комплекс для проведения приемо-сдаточных испытаний тяговых электродвигателей постоянного и пульсирующего тока. <i>А. Е. Друбецкий</i>	6	88
Железнодорожный путь		
Моделирование процесса развития вертикальных деформаций железнодорожного пути. <i>Д. Н. Курган</i>	1	100
Установление допустимых скоростей движения поездов по криволинейным стрелочным переводам. <i>А. М. Патласов, С. А. Токарев, Е. А. Патласов</i>	2	98
Обоснование выбора модели изменения диэлектрических свойств несплошных систем. <i>Л. В. Трикоз, И. В. Багиянц</i>	3	120
Исследование преждевременного разрушения железобетонных шпал на магистральных путях ПАО «Укрзализныця». <i>В. В. Коваленко</i>	4	63
Перспективы укладки скрепления типа СКД 65-Б в кривых участках пути малого радиуса. <i>М. П. Настечик, Р. В. Маркуль</i>	4	71

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Экспериментальные исследования взаимодействия пути и подвижного состава в пределах съезда. <i>М. А. Арбузов, А. М. Патласов, С. А. Токарев</i>	5	64
Расчет характеристик жесткости и упругости рельсовой нити при кручении под воздействием вертикальных и горизонтальных сил. <i>Э. И. Даниленко</i>	5	79
Исследование аэродинамического давления при прохождении высокоскоростного поезда. <i>С. Т. Джаббаров</i>	5	92
Основы математического описания волновой модели распространения напряжений в железнодорожном пути. <i>Д. Н. Курган</i>	5	101
Жесткость крепежителей промежуточных скреплений для деревянных шпал при действии горизонтальных поперечных сил. <i>А. Н. Даренский, Ю. Л. Тулей, Д. А. Потапов, А. С. Малишевская</i>	6	96
Информационно-коммуникационные технологии и математическое моделирование		
Конструктивная модель адаптации структур данных в оперативной памяти. Часть I. Конструирование текстов программ. <i>В. И. Шинкаренко, Г. В. Забула</i>	1	109
Модель автоматизированной системы поддержки принятия решений диспетчерского управления городским пассажирским автотранспортом. <i>В. А. Лахно, В. М. Собченко</i>	2	61
Анализ графика исполненного движения в информационной системе ПАО «Укрзалізниця»: перспективы развития. <i>С. Н. Овчаренко</i>	2	70
О выполнении сложных операций в непозиционной системе счисления остаточных классов. <i>Ю. Д. Полисский</i>	2	78
Конструктивная модель адаптации структур данных в оперативной памяти. Часть II. Конструкторы сценариев и процессов адаптации. <i>В. И. Шинкаренко, Г. В. Забула</i>	2	88
О преобразовании представлений чисел в остатках из одной системы модулей в другую. <i>Ю. Д. Полисский</i>	3	130
Моделирование модифицированного метода анализа иерархий средствами конструктивно-продукционных структур. <i>Т. Н. Васецкая</i>	4	81
Моделирование температурных полей в твердотельных тепловых аккумуляторах. <i>С. С. Белименко, В. А. Ищенко, В. А. Габринец</i>	5	114
Конструктивное моделирование зоны распределения энергии рекуперации тяги постоянного тока. <i>В. И. Шинкаренко, О. И. Саблин, А. П. Иванов</i>	5	125
Прогнозирование объема сетевого трафика в информационно-телекоммуникационной системе Приднестровской дороги на основе нейронечеткой сети. <i>В. Н. Пахомова</i>	6	105
Материаловедение		
Влияние химического состава высокохромистых чугунов на обрабатываемость резанием. <i>В. В. Нетребко</i>	1	122

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Влияние температуры самоотпуска на прочность диска железнодорожного колеса после ускоренного охлаждения. <i>Л. И. Вакуленко, Д. М. Болотова, С. В. Пройдак, М. А. Грищенко, И. О. Вакуленко</i>	2	109
К вопросу образования карбидов Fe_3C и Fe_7C_3 в высокохромистых чугунах. <i>В. В. Нетребко</i>	3	138
Преимущества экспресс-метода определения массы окарины и обезуглероженного слоя бунтового проката. <i>Э. В. Парусов, А. Б. Сычков, С. И. Губенко, И. Н. Чуйко, Л. В. Сагура</i>	4	96
Условия обеспечения качества восстановленных наплавкой железнодорожных колес. <i>А. А. Гайворонский</i>	5	136
Влияние химического состава чугуна на межфазное распределение Mn. <i>В. В. Нетребко, И. П. Волчок</i>	6	115
Нетрадиционные виды транспорта. Машины и механизмы		
Исследование зависимости мощности привода ленточного конвейера от его проектных параметров. <i>В. Н. Богомаз</i>	1	131
Особенности колебаний приводных механизмов роторов. <i>В. С. Ловейкин, Ю. В. Човнюк, А. П. Ляшко</i>	1	147
Обоснование центрирующей способности новой конструкции барабанов ленточного конвейера. <i>В. В. Суглобов, С. В. Ракша, П. А. Гринько</i>	1	158
Оценка живучести металлоконструкций при моделировании факторов эксплуатации. <i>А. Н. Гибаленко, Т. С. Трофимчук</i>	2	119
Обоснование рациональных кинематических характеристик формовочного вибростола. <i>П. Г. Анофриев</i>	6	124
Анализ влияния проектных характеристик наклонного ковшового элеватора на мощность его привода. <i>В. Н. Богомаз, Н. В. Боренко, С. В. Пацановский, А. А. Ткачов</i>	6	136
Подвижной состав железных дорог и тяга поездов		
Методологические основы определения эксплуатационных характеристик несамоходного подвижного состава. <i>Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, А. А. Мищенко</i>	1	169
Определение допустимых сил при оценке устойчивости грузовых вагонов от выжимания в поездах. <i>А. А. Швеи, К. И. Железнов, А. С. Акулов, А. Н. Заболотный, Е. В. Чабанюк</i>	1	180
Применение программного комплекса APM Winmachine при проектировании и расчетах в машиностроении. <i>Л. А. Недужая, А. А. Швеи</i>	2	129
Модернизация как способ улучшения использования универсальных вагонов. <i>А. Г. Рейдемейстер, В. А. Калашник, А. А. Шкунов</i>	2	148
Зависимость свойств пневматической рессоры от пневматического сопротивления дросселя. <i>А. Г. Рейдемейстер, А. В. Кивишева</i>	2	157
О форме кривой наполнения тормозных цилиндров в грузовых поездах. <i>Л. В. Урсуляк, Г. Вайчиунас, Я. Н. Романюк, В. Петренко, Е. С. Степченкова</i>	2	165
К вопросу продления полезного срока службы вагонов для перевозки окатышей. <i>В. Г. Анофриев, А. Г. Рейдемейстер, В. А. Калашник, В. П. Кулешов</i>	3	148

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Соотношение между сопротивлениями качению и скольжению в подшипниках качения. <i>Л. Н. Бондаренко, Н. А. Бабяк, С. А. Яковлев, С. А. Истин, Г. Ю. Москалев</i>	3	161
Моделирование соударений вагонов при сухом трении в опорах груза. <i>С. М. Васильев, А. Д. Железняков, Л. П. Целковица</i>	4	116
Стендовые катковые испытания в Чешском техническом университете. <i>Я. Каливода, П. Бауэр</i>	4	125
Математическая модель колебаний колесной пары с независимым вращением колес в горизонтальной плоскости. <i>С. В. Мямлин, О. А. Кирильчук, В. С. Метыженко</i>	4	134
Применение шестигранных цельнометаллических самостоупорящихся FS-гаек на подвижном составе железных дорог колеи 1 520 мм. <i>Р. Крайс, В. С. Лесничий</i>	5	152
Вероятностно-физический подход для описания и определения надежности вагонов. <i>Л. А. Мурадян</i>	5	168

Транспортное строительство

Взаимосвязь между технологическими факторами и основными свойствами механоактивированных мелкозернистых бетонов. <i>В. И. Большаков, М. А. Елисеева, С. А. Щербак</i>	1	193
Структурообразование в бетонах подрельсовых оснований. <i>В. В. Коваленко, Ю. Л. Заяц, П. А. Пишнько, С. В. Коваленко</i>	2	174
Влияние обращения матрицы на сложность метода конечных элементов. <i>М. Сыбис, А. Смочкевич-Войцеховска, А. Шимчак-Грачик</i>	2	190
Напряжение стальной трубы, проложенной в условиях несовершенства труб и неоднородности грунта. <i>К. Горски, Р. Л. Игнатович</i>	3	171
Взаимно однозначные нелинейные преобразования пространства с тождественной плоскостью. <i>А. Д. Малый, Т. В. Ульченко, А. С. Щербак, Ю. Я. Попудняк, Т. В. Старосольская</i>	3	181
Снижение уровня коррозионной опасности при рациональном конструировании металлоконструкций. <i>А. Н. Гибаленко</i>	4	141
Экспериментальное исследование распределения горизонтального давления на гофрированные стальные стенки силоса. <i>В. В. Качуренко, Д. О. Банников</i>	4	151
Оценка влияния укрепления земляного полотна грунтоцементными элементами. <i>В. Д. Петренко, А. Л. Тюткин, И. А. Святко</i>	4	161
Бетон на основе дисперсной модифицированной цементной системы. <i>Д. В. Руденко</i>	4	169
Особенности комплекса буровзрывных работ при строительстве Бескидского тоннеля. <i>В. Д. Петренко, А. Л. Тюткин, С. Т. Проскурня</i>	5	178
Типы пространственных структурно-вантовых сталежелезобетонных конструкций. <i>Г. М. Гасий</i>	6	158
Исследование напряженного состояния модифицированного монолитного бетона. <i>Д. В. Руденко</i>	6	166

**Subject Index to the Journal «Science and Transport Progress.
Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport»
for 2016**

Article title	Journal number	Page
Hero of the day		
The 80th anniversary of the birth of Shafran Leonid Moiseyevich	1	7
Memorable Dates		
Energetic scientist and dynamic person. To the 80th anniversary of professor Viktor Danilovich Danovich birth. <i>S. V. Myamlin</i>	5	7
Engineer, mechanic, scientist. The 80th anniversary of professor Savchuk Orest Makarovych birth. <i>S. V. Myamlin, S. S. Dovhaniuk</i>	5	12
Science and Transport Progress		
Obtaining of new knowledge in concerning «air conditioning» at the railway transport: scientometric aspect. <i>T. O. Kolesnykova, O. V. Pominova, S. R. Kolesnykov</i>	3	7
Transport Automated Control Systems		
Improving the positioning accuracy of train on the approach section to the railway crossing. <i>V. I. Havryliuk, O. M. Voznyak, V. V. Meleshko</i>	1	9
About track circuit calculation method dependent on ferromagnet properties in conditions of traction current noise influence. <i>A. Yu. Zhuravlev</i>	1	19
Unified verification method of electromagnetic compatibility between rolling stock and train detection systems. <i>A. Bialon, D. Adamski, Ju. Furman</i>	3	20
Controlling the speed of rolling cuts in conditions of reduction of brake power of car retarders. <i>D. M. Kozachenko, V. I. Bobrovskiy, C. V. Grevtsov, M. I. Berezovyi</i>	3	28
Command – control and signaling system documentation and its safety. <i>M. Kycko</i>	3	41
Modelling of safety-related communications for railway applications. <i>M. Franekowa, P. Lüley</i>	5	15
Mechanical parameters control of the neutral relay of rail automatics based on wavelet analysis. <i>V. I. Havryliuk</i>	6	7
Transport Ecology		
Express method of estimation of the potential territorial risk in case of accidents on transport. <i>M. M. Biliaiev, L. Ya. Muntian</i>	1	30
CFD simulation of air ion regime in work areas at condition of artificial air ionization. <i>M. M. Biliaiev, S. G. Tsygankova</i>	1	39
Atmosphere protection in case of emergency during transportation of dangerous cargo. <i>O. V. Berlov</i>	1	48
Numerical simulation of toxic chemical dispersion after accident at railway. <i>M. M. Biliaiev, L. Ya. Muntian</i>	2	7
Complex of numerical models for computation of air ion concentration in premises. <i>M. M. Biliaiev, S. G. Tsygankova</i>	2	16

Article title	Journal number	Page
Monitoring of radioactivity at DNURT campus. <i>L. F. Dolina, V. P. Kilovyi, D. V. Astakhov, M. V. Kalimbet</i>	3	49
Influence of rolling stock vibroacoustical parameters on the choice of rational values of locomotive running gear. <i>Yu. V. Zelenko, L. O. Neduzha, A. O. Shvets</i>	3	60
Investigation of admixture sedimentation in the horizontal settler. <i>V. A. Kozachyna</i>	4	7
The assessment models of air pollution during transportation of bulk cargo. <i>M. M. Biliaiev, M. O. Oladipo</i>	5	22
Coal dust emission problem. <i>M. M. Biliaiev, M. O. Oladipo</i>	6	17
Numerical prediction models for air pollution by motor vehicle emissions. <i>M. M. Biliaiev, O. S. Slavinska, R. V. Kyrychenko</i>	6	25
Economics and Management		
Directions of extreme tourism in Ukraine. <i>L. V. Martsenyuk</i>	1	55
Strategy of innovative activity of industrial enter-prises. <i>M. S. Kravchenko, N. V. Marchenko</i>	2	25
State and problems of development of insurance market of Ukraine. <i>L. V. Martseniuk, O. V. Chornovil, K. V. Belaya, A. O. Udovychenko, Anoop Kumar Sharma</i>	2	36
Heat supply system improvement of campus at Uman National university of horticulture. <i>A. F. Golovchuk</i>	3	76
Improving the efficiency of the heating system for public buildings infrastructure in the context of DNURT. <i>O. M. Pshinko, V. H. Kuznetsov, D. K. Yatsenko, V. O. Gabrinets</i>	3	97
Rating models and information technologies application for management of administrative-territorial complexes. <i>O. M. Pshinko, V. V. Skalozub</i>	6	33
Development of passenger traffic service quality management system of railway enterprises. <i>M. V. Rudenko</i>	6	48
Techno-economic assessment of the use of wheels of perspective structural scheme for railway vehicles. <i>S. A. Semenov, E. V. Mikhailov, O. H. Reidemeister</i>	6	61
Presentation of the rail freight market's concentration with respect to the gas market with the help of the Herfindal-Hirschman index. <i>B. Farkas</i>	6	69
Operation and Repair of Transport Means		
Repair technology improvement of specialized freight cars. <i>V. M. Bubnov, I. Yu. Kebal, M. B. Mankevych</i>	1	62
Energy saving modes definition of trains handling. <i>D. M. Kyslyi</i>	1	71
Study of car traffic flow structure on arrival and departure at the marshalling yard X. <i>G. I. Nesterenko, M. I. Muzykin, V. L. Horobets, S. I. Muzykina</i>	1	85
Study of working capacity of the marshalling yard. <i>S. I. Muzykina, M. I. Muzykin, G. I. Nesterenko</i>	2	47
Determination of energy losses by shock absorber in a freight car at crash mode. <i>Y. V. Bolzhelarskyi, Yu. H. Sobolevska, S. S. Dovganyuk, A. V. Batig</i>	4	15

Article title	Journal number	Page
Improving the technology of Belorussian railway in conditions of electronic documents usage. <i>M. M. Kolos, M. A. Gonchar</i>	4	24
Study of technical state impact of brake retarders at the processing ability of humps. <i>D. M. Kozachyenko, S. V. Grevtsov, T. V. Bolvanovska</i>	4	37
Reduction in cuts speed at the beginning of a sorting sidings, equipped with quasi-continuous speed control system. <i>O. A. Nazarov</i>	4	47
Calculation of optimal intervals to choose the modes of interaction between stations and non-public tracks. <i>I. A. Yelovoy, Ye. N. Potylkin</i>	5	30
Use of microcontroller for measuring shaft speed of diesel locomotive hydraulic transmission. <i>I. V. Zhukovytsky, I. A. Kliushnyk</i>	5	43
Forecasting of performance evaluation of new vehicles. <i>O. S. Krasheninina, O. V. Klymenko, O. V. Ponomarenko</i>	6	79
Electric Transport		
Analysis of energy saving and energy efficiency issues during operation of the metro rolling stock. <i>A. V. Donchenko, A. O. Sulym, A. S. Siora, A. A. Melnyk, V. V. Fedorov</i>	3	108
Implementation model of motor traction force of maglev train. <i>V. O. Polyakov, M. M. Khachapuridze</i>	4	55
Energy saving during operation of equipment with non-controlled electric drive in locomotive depot. <i>L. V. Dubynets, O. L. Marenych, O. Yu. Baliichuk, A. S. Kortohus</i>	5	54
Automated measuring complex for acceptance testing of DC and undulated-current traction motors. <i>A. Yu. Drubetskyi</i>	6	88
Railway Track		
Modeling of development vertical deformation of railway track. <i>D. M. Kurhan</i>	1	100
Establishment of the permissible train speed on the curved turnouts. <i>O. M. Patlasov, S. O. Tokariev, Ye. O. Patlasov</i>	2	98
Rationale for choosing the change model of the dielectric properties of discontinuous systems. <i>L. V. Trykoz, I. V. Bahiiants</i>	3	120
Research premature destruction of concrete sleepers on the main lines of public company «UZ». <i>V. V. Kovalenko</i>	4	63
Prospects for laying the fastening of the type CKД65–Б in the curved track sections with small radius. <i>M. P. Nastechik, R. V. Marcul</i>	4	71
Experimental investigations of interaction of track and rolling stock on crossovers. <i>M. A. Arbuzov, O. M. Patlasov, S. O. Tokariev</i>	5	64
Calculation of characteristics of stiffness and elasticity of rail threads when torsion under combined action of vertical and horizontal forces. <i>E. I. Danilenko</i>	5	79
Investigation of aerodynamic pressure during the high-speed train passage. <i>S. T. Djabbarov</i>	5	92
The basis of mathematical description for wave model of stresses propagation in railway track. <i>D. M. Kurhan</i>	5	101

Article title	Journal number	Page
Rigidity of intermediate fastening screws and spikes for wooden sleepers under the action of horizontal lateral forces. <i>O. M. Darenskiy, Yu. L. Tuley, D. O. Potapov, A. S. Malishevskaya</i>	6	96
Information and Communication Technologies and Mathematical Modeling		
Constructive model of data structures adaptation in ram. Part I. Program text constructing. <i>V. I. Shynkarenko, H. V. Zabula</i>	1	109
The automatic system's model of decision-making support for dispatching control of the city passenger traffic. <i>V. A. Lakhno, V. M. Sobchenko</i>	2	61
Analysis of train sheet in the information system of JSC «Ukrzaliznytsia»: perspective. <i>S. M. Ovcharenko</i>	2	70
About complex operations in non-positional residue number system. <i>Yu. D. Polissky</i>	2	78
Constructive model of adaptation of data structures in ram. Part II. Constructors of scenarios and adaptation processes. <i>V. I. Shynkarenko, H. V. Zabula</i>	2	88
On the transformation of representation of numbers in the residuo from one module system to another. <i>Yu. D. Polissky</i>	3	130
Modelling the modified method of analytic hierarchy process by means of constructive and productive structures. <i>T. M. Vasetska</i>	4	81
Modeling of temperature fields in a solid heat accumulators. <i>S. S. Belimenko, V. O. Ishchenko, V. O. Gabrinets</i>	5	114
Constructive modelling for zone of recovery energy distribution of dc traction. <i>V. I. Shynkarenko, O. I. Sablin, O. P. Ivanov</i>	5	125
Network traffic forecasting in information-telecommunication system of Prydniprovsk railways based on neuro-fuzzy network. <i>V. M. Pakhomova</i>	6	105
Material Science		
The influence of chemical composition of high-chromium cast irons on the machinability. <i>V. V. Netrebko</i>	1	122
Influence of self-tempering temperature on strength of railway wheel disk after accelerated cooling. <i>L. I. Vakulenko, D. M. Bolotova, S. V. Proydak, M. A. Grischenko, I. O. Vakulenko</i>	2	109
About the issue of carbides Fe_3C and Fe_7C_3 formation in high-chromium cast irons. <i>V. V. Netrebko</i>	3	138
Advantages of rapid method for determining scale mass and decarburized layer of rolled coil steel. <i>E. V. Parusov, A. B. Sychkov, S. I. Gubenko, I. N. Chuiko, L. V. Sahura</i>	4	96
Terms of ensuring quality of the railway wheels built up by welding. <i>O. A. Haivoronskyi</i>	5	136
Influence of the cast iron's chemical composition on the interphase distribution of Mn. <i>V. V. Netrebko, I. P. Volchok</i>	6	115
Non-Traditional Transport Modes. Machines and Mechanism		
Research of dependence of belt conveyer drive power on its design parameters. <i>V. M. Bohomaz</i>	1	131

Article title	Journal number	Page
Specialty of rotor's drive mechanism oscillations. <i>V. S. Loveikin, Yu. V. Chovnyuk, A. P. Lyashko</i>	1	147
Rationale for centering capacity of redesigned belt conveyor drums. <i>V. V. Suglobov, S. V. Raksha, P. A. Hrynko</i>	1	158
Metal structures survivability assessment when simulating service conditions. <i>O. M. Gibalenko, T. S. Trofymchuk</i>	2	119
Justification of rational kinematic characteristics of molding vibrating table. <i>P. G. Anofriev</i>	6	124
Analysis of influence of design characteristics of inclined bucket elevator on the power of its drive. <i>V. M. Bohomaz, M. V. Borenko, S. V. Patsanovskiy, O. O. Tkachov</i>	6	136
Rolling Stock and Train Traction		
Methodological fundamentals of determination of unpowered rolling stock maintenance characteristics. <i>L. A. Muradian, V. Yu. Shaposhnyk, A. A. Mischenko</i>	1	169
Determination the permissible forces in assessing the lift resistant factor of freight cars in trains. <i>A. O. Shvets, K. I. Zheliezynov, A. S. Akulov, O. M. Zabolotnyi, E. V. Chabaniuk</i>	1	180
Application of APM winmachine software for design and calculations in mechanical engineering. <i>L. O. Neduzha, A. O. Shvets</i>	2	129
Modernization as a way to improve the use of universal cars. <i>O. H. Reidemeister, V. O. Kalashnyk, O. A. Shykunov</i>	2	148
Dependence of air spring parameters on throttle resistance. <i>O. H. Reidemeister, A. V. Kivisheva</i>	2	157
About waveform of braking cylinder filling in freight cars. <i>L. V. Ursuliak, G. Vaiciunas, Ya. M. Romaniuk, V. Petrenko, K. S. Stepchenkova</i>	2	165
To the issue of extending the service life of cars for transportation of pellets. <i>V. H. Anofriev, O. H. Reidemeister, V. A. Kalashnyk, V. P. Kulieshov</i>	3	148
Relationship between rolling and slip resistance in rolling bearings. <i>L. M. Bondarenko, M. O. Babyak, S. O. Yakovlev, S. O. Istin, G. Yu. Moskalev</i>	3	161
Cars impact simulation at dry friction in cargo supports. <i>S. M. Vasilyeu, A. D. Zheleznyakov, L. P. Tselkovikova</i>	4	116
Roller rig testing at the Czech technical university. <i>J. Kalivoda, P. Bauer</i>	4	125
Mathematical model of wheelset oscillations with independent wheel rotation in the horizontal plane. <i>S. V. Myamlin, O. A. Kirilchuk, V. S. Metyzhenko</i>	4	134
Applicability of FS-all-metal self-lock nuts for railway rolling stock of 1 520 mm gauge. <i>R. Kreis, V. S. Lisnychyi</i>	5	152
Probabilistic-physical approach to describe and determine the reliability of cars. <i>L. A. Muradian</i>	5	168
Transport Construction		
Correlation between technological factors and basic properties of mechanically activated fine concretes. <i>V. I. Bolshakov, M. O. Yelisieieva, S. A. Shcherbak</i>	1	193
Structure formation in foundation slab concrete. <i>V. V. Kovalenko, Yu. L. Zayats, P. O. Pshinko, S. V. Kovalenko</i>	2	174
Impact of matrix inversion on the complexity of the finite element method. <i>M. Sybis, A. Smockiewicz-Wojciechowska, A. Szymczak-Graczyk</i>	2	190

Article title	Journal number	Page
Effort of steel pipe jacking in terms of imperfection pipes and heterogeneity of ground. <i>K. Górski, R. L. Ignatowicz</i>	3	171
One-to-one nonlinear transformation of the space with identity plane. <i>A. D. Malyi, T. V. Ulchenko, A. S. Shcherbak, Yu. Ya. Popudniak, T. V. Starosolskaya</i>	3	181
The decrease in the level of corrosion hazard in the rational design of metal structures. <i>O. M. Gibalenko</i>	4	141
Experimental study of horizontal pressure distribution on corrugated steel silo walls. <i>V. V. Kachurenko, D. O. Bannikov</i>	4	151
Estimation of subgrade strengthening influence using soilcement elements. <i>V. D. Petrenko, O. L. Tiutkin, I. O. Sviatko</i>	4	161
Concrete based on modified disperse cement system. <i>D. V. Rudenko</i>	4	169
Features of drilling-and-blasting at construction of Beskidskiy tunnel. <i>V. D. Petrenko, O. L. Tiutkin, S. T. Proskurnia</i>	5	178
Types of steel and concrete composite cable space frames. <i>G. M. Gasii</i>	6	158
Research of the stress state of a modified in-situ concrete. <i>D. V. Rudenko</i>	6	166

ЗМІСТ

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

В. І. ГАВРИЛЮК

КОНТРОЛЬ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕЙТРАЛЬНИХ РЕЛЕ
ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ7

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

М. М. БІЛЯЄВ, М. О. ОЛАДПО

ПРОБЛЕМА ЗНЕСЕННЯ ВУГІЛЬНОГО ПИЛУ17

М. М. БІЛЯЄВ, О. С. СЛАВІНСЬКА, Р. В. КИРИЧЕНКО

ЧИСЕЛЬНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУ ЗАБРУДНЕННЯ
АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ АВТОТРАНСПОРТУ25

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

О. М. ПІШНЬКО, В. В. СКАЛОЗУБ

ЗАСТОСУВАННЯ РЕЙТИНГОВИХ МОДЕЛЕЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ДЛЯ УПРАВЛІННЯ АДМІНІСТРАТИВНО-ТЕРИТОРІАЛЬНИМИ КОМПЛЕКСАМИ33

М. В. РУДЕНКО

РОЗВИТОК СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПОСЛУГ
ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПІДПРИЄМСТВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ48

С. О. СЕМЕНОВ, Є. В. МИХАЙЛОВ, О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВИКОРИСТАННЯ КОЛІС
ПЕРСПЕКТИВНОЇ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ДЛЯ РЕЙКОВИХ ЕКІПАЖІВ61

Б. ФАРКАС

ПРЕЗЕНТАЦІЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВАНТАЖНОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО РИНКУ
ЩОДО ГАЗОВОГО РИНКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНДЕКСУ ХЕРФІНДАЛЯ-ХІРШМАНА69

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

О. С. КРАШЕНІНІН, О. В. КЛИМЕНКО, О. В. ПОНОМАРЕНКО

ПРОГНОЗУВАННЯ ОЦІНКИ ХАРАКТЕРИСТИК НОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ79

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

А. Ю. ДРУБЕЦЬКИЙ

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРИЙМАЛЬНО-ЗДАВАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ
ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО ТА ПУЛЬСУЮЧОГО СТРУМУ88

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

О. М. ДАРЕНСЬКИЙ, Ю. Л. ТУЛЕЙ, Д. О. ПОТАПОВ, А. С. МАЛІШЕВСЬКА

ЖОРСТКІСТЬ ПРИКРІПЛЮВАЧІВ ПРОМІЖНИХ СКРІПЛЕНЬ ДЕРЕВ'ЯНИХ ШПАЛ
ПРИ ДІЇ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ПОПЕРЕЧНИХ СИЛ96

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

В. М. ПАХОМОВА

ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГУ МЕРЕЖЕВОГО ТРАФІКА
В ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ
НА ОСНОВІ НЕЙРОНЕЧІТКОЇ МЕРЕЖІ105

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

В. В. НЕТРЕБКО, І. П. ВОЛЧОК

ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЧАВУНУ НА РОЗПОДІЛ Mn ПОМІЖ ФАЗАМИ115

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ.

П. Г. АНОФРІЄВ

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

ФОРМУВАЛЬНОГО ВІБРОСТОЛУ 124

В. М. БОГОМАЗ, М. В. БОРЕНКО, С. В. ПАЦАНОВСЬКИЙ, О. О. ТКАЧОВ

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПРОЕКТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОХИЛОГО КІВШОВОГО ЕЛЕВАТОРА

НА ПОТУЖНІСТЬ ЙОГО ПРИВОДУ 136

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Г. М. ГАСІЙ

ТИПИ ПРОСТОРОВИХ СТРУКТУРНО-ВАНТОВИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ 158

Д. В. РУДЕНКО

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ МОДИФІКОВАНОГО МОНОЛІТНОГО БЕТОНУ 166

ТЕМАТИЧНИЙ ПОКАЖЧИК ЖУРНАЛУ «НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ.

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО

ТРАНСПОРТУ» ЗА 2016 РІК 175

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

В. И. ГАВРИЛЮК

КОНТРОЛЬ МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕЙТРАЛЬНОГО РЕЛЕ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА7

ЭКОЛОГИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Н. Н. БЕЛЯЕВ, М. О. ОЛАДИПО

ПРОБЛЕМА УНОСА УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ17

Н. Н. БЕЛЯЕВ, Е. С. СЛАВИНСКАЯ, Р. В. КИРИЧЕНКО

ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ВЫБРОСАМИ АВТОТРАНСПОРТА25

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

А. Н. ПШИНЬКО, В. В. СКАЛОЗУБ

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЙТИНГОВЫХ МОДЕЛЕЙ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ33

М. В. РУДЕНКО

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ УСЛУГ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК
ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА48

С. А. СЕМЕНОВ, Е. В. МИХАЙЛОВ, А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЛЕС
ПЕРСПЕКТИВНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ РЕЛЬСОВЫХ ЭКИПАЖЕЙ61

Б. ФАРКАС

ПРЕЗЕНТАЦИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГРУЗОВОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО РЫНКА
В ОТНОШЕНИИ ГАЗОВОГО РЫНКА С ПОМОЩЬЮ ИНДЕКСА ХЕРФИНДАЛЯ-ХИРШМАНА69

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

А. С. КРАШЕНИНИН, А. В. КЛИМЕНКО, Е. В. ПОНОМАРЕНКО

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК НОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ79

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

А. Е. ДРУБЕЦКИЙ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ
ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО И ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ТОКА88

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

А. Н. ДАРЕНСКИЙ, Ю. Л. ТУЛЕЙ, Д. А. ПОТАПОВ, А. С. МАЛИШЕВСКАЯ

ЖЕСТКОСТЬ ПРИКРЕПИТЕЛЕЙ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СКРЕПЛЕНИЙ
ДЛЯ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ ПРИ ДЕЙСТВИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ96

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В. Н. ПАХОМОВА

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМА СЕТЕВОГО ТРАФИКА
В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПРИДНЕПРОВСКОЙ ДОРОГИ
НА ОСНОВЕ НЕЙРОНЕЧЕТКОЙ СЕТИ105

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

В. В. НЕТРЕБКО, И. П. ВОЛЧОК

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЧУГУНА НА МЕЖФАЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Mn115

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВИДЫ ТРАНСПОРТА. МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

П. Г. АНОФРИЕВ

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

ФОРМОВОЧНОГО ВИБРОСТОЛА 124

В. Н. БОГОМАЗ, Н. В. БОРЕНКО, С. В. ПАЦАНОВСКИЙ, А. А. ТКАЧОВ

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

НАКЛОННОГО КОВШОВОГО ЭЛЕВАТОРА НА МОЩНОСТЬ ЕГО ПРИВОДА 136

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Г. М. ГАСИЙ

ТИПЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРУКТУРНО-ВАНТОВЫХ

СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ 158

Д. В. РУДЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

МОДИФИЦИРОВАННОГО МОНОЛИТНОГО БЕТОНА 166

ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЖУРНАЛА «НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА.

ВЕСТНИК ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА» ЗА 2016 ГОД 181

CONTENTS

TRANSPORT AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

V. I. HAVRYLIUK

MECHANICAL PARAMETERS CONTROL OF THE NEUTRAL RELAY OF RAIL AUTOMATICS BASED ON WAVELET ANALYSIS	7
--	---

TRANSPORT ECOLOGY

M. M. BILIAIEV, M. O. OLADIPO

COAL DUST EMISSION PROBLEM	17
----------------------------------	----

M. M. BILIAIEV, O. S. SLAVINSKA, R. V. KYRYCHENKO

NUMERICAL PREDICTION MODELS FOR AIR POLLUTION BY MOTOR VEHICLE EMISSIONS	25
--	----

ECONOMICS AND MANAGEMENT

O. M. PSHINKO, V. V. SKALOZUB

RATING MODELS AND INFORMATION TECHNOLOGIES APPLICATION FOR MANAGEMENT OF ADMINISTRATIVE-TERRITORIAL COMPLEXES	33
--	----

M. V. RUDENKO

DEVELOPMENT OF PASSENGER TRAFFIC SERVICE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF RAILWAY ENTERPRISES	48
--	----

S. A. SEMENOV, E. V. MIKHAILOV, O. H. REIDEMEISTER

TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT OF THE USE OF WHEELS OF PERSPECTIVE STRUCTURAL SCHEME FOR RAILWAY VEHICLES	61
--	----

B. FARKAS

PRESENTATION OF THE RAIL FREIGHT MARKET'S CONCENTRATION WITH RESPECT TO THE GAS MARKET WITH THE HELP OF THE HERFINDAL-HIRSCHMAN INDEX	69
--	----

OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS

O. S. KRASHENININ, O. V. KLYMENKO, O. V. PONOMARENKO

FORECASTING OF PERFORMANCE EVALUATION OF NEW VEHICLES	79
---	----

ELECTRIC TRANSPORT

A. YU. DRUBETSKYI

AUTOMATED MEASURING COMPLEX FOR ACCEPTANCE TESTING OF DC AND UNDULATED-CURRENT TRACTION MOTORS	88
---	----

RAILWAY TRACK

O. M. DARENSKIY, YU. L. TULEY, D. O. POTAPOV, A. S. MALISHEVSKAYA

RIGIDITY OF INTERMEDIATE FASTENING SCREWS AND SPIKES FOR WOODEN SLEEPERS UNDER THE ACTION OF HORIZONTAL LATERAL FORCES	96
---	----

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AND MATHEMATICAL MODELING

V. M. PAKHOMOVA

NETWORK TRAFFIC FORCASTING IN INFORMATION-TELECOMMUNICATION SYSTEM OF PRYDNIPROVSK RAILWAYS BASED ON NEURO-FUZZY NETWORK	105
---	-----

MATERIAL SCIENCE

V. V. NETREBKO, I. P. VOLCHOK

INFLUENCE OF THE CAST IRON'S CHEMICAL COMPOSITION ON THE INTERPHASE DISTRIBUTION OF Mn	115
---	-----

NON-TRADITIONAL TRANSPORT MODES. MACHINES AND MECHANISMS

P. G. ANOFRIEV

JUSTIFICATION OF RATIONAL KINEMATIC CHARACTERISTICS OF MOLDING VIBRATING TABLE	124
--	-----

V. M. BOHOMAZ, M. V. BORENKO, S. V. PATSANOVSKYI, O. O. TKACHOV ANALYSIS OF INFLUENCE OF DESIGN CHARACTERISTICS OF INCLINED BUCKET ELEVATOR ON THE POWER OF ITS DRIVE	136
 <i>TRANSPORT CONSTRUCTION</i>	
G. M. GASII TYPES OF STEEL AND CONCRETE COMPOSITE CABLE SPACE FRAMES	158
D. V. RUDENKO RESEARCH OF THE STRESS STATE OF A MODIFIED IN-SITU CONCRETE	166
SUBJECT INDEX TO THE JOURNAL «SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS. BULLETIN OF DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT» FOR 2016	187

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

До публікації в журналі приймаються статті українською, російською або англійською мовами проблемного, узагальнюючого, методичного характеру, оригінальні наукові, практичні дослідження, які раніше ніде не видавалися.

Матеріали необхідно надавати в друкованому та електронному вигляді у програмі Microsoft Word 2003 або більш ранній версії – файли *.doc (файли *.docx, *.docm не приймаються). Для набору формул використовується MathType 5.

Наукова стаття повинна відповідати вимогам п. 3 Постанови ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003 року.

Матеріали рецензуються членами редакційної колегії журналу та сторонніми незалежними експертами, виходячи з принципу об'єктивності та з позицій вищих міжнародних академічних стандартів якості, та редагуються. Редакція залишає за собою право на стилістичну правку рукопису.

Вимоги щодо обсягу наукових статей, повідомлень, відгуків та рецензій:

- оглядові та проблемні статті – до 45 000 знаків з пробілами (7–10 с.);
- загальні статті за рубриками видання – до 30 000 знаків з пробілами (5–7 с.);
- наукове повідомлення – до 8 000 знаків з пробілами (до 2,5 с.);
- відгук або рецензія – до 6 000 знаків з пробілами (до 2 с.).

Матеріал надається у форматі А4, враховуючи таблиці, ілюстрації, список використаних джерел. Статті, більші за обсягом, можуть бути прийняті до розгляду на підставі рішення редколегії.

Увага! Згідно з міжнародними стандартами якості наукових публікацій необхідним є: наявність авторських розширених і структурованих резюме (рефератів – abstracts), у т.ч. англійською мовою, рецензій, пристатейних списків літератури в романському алфавіті тощо.

Рекомендуємо скористатися правилами до оформлення статей журналу:
<http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/Vumogu.pdf>.

Для здачі статті до друку автору/авторам необхідно:

1. Для електронної інформації сформувати всі матеріали в п'яти файлах:

- **Перший** – із текстом статті та анотацій з ключовими словами. Назва файлу – прізвище та ініціали автора (першого співавтора) латинськими літерами, наприклад: Ivanov_P_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_P_vidomosti.doc.
- **Третій** – рецензія (відсканована). Назва файлу – Ivanov_P_recenziia.jpg.
- **Четвертий** – Експертний висновок (відсканований, складається у вільній формі). Назва файлу – Ivanov_P_vysnovok.jpg.
- **П'ятий** – Ліцензійний договір (відсканований). Назва файлу – Ivanov_P_dogovor.jpg. Текст договору: <http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/license.doc>.

2. Для друкованої інформації. До редакції надаються особисто або надсилаються поштою такі матеріали: 1) два друкованих примірники рукопису з підписами всіх співавторів на останньому аркуші роботи; 2) оригінал Ліцензійного договору з підписами всіх співавторів; 3) оригінал експертного висновку; 4) рекомендація до друку за підписом відповідального редактора розділу (для співробітників ДНУЗТ).

Відповідальність за зміст статті, правильність, точність і коректність цитування, посилань та перекладу покладається на авторів.

Остаточне рішення щодо публікації ухвалює редакційна колегія журналу.

Статті, відхилені редакційною колегією, повертаються авторам для доопрацювання.

Шановні автори, запрошуємо до співробітництва!

З питань опублікування звертайтеся до редакції журналу за адресою:

Науково-технічна бібліотека (ауд. 166),
 Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
 вул. Лазаряна, 2,
 м. Дніпро,
 Україна,
 49010
 e-mail: visnik@diit.edu.ua
 Адреса сайту журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>

Наукове видання

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

№ 6 (66) 2016

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – А. І. Миргородська

Комп'ютерне верстання – Л. А. Кобулія

Літературна обробка – О. М. Врублевська

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 23,13. Тираж 300 пр. Зам. № 37.

**Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Адреса редакції, видавця:

вул. Лазаряна, 2, кім. 267, м. Дніпро, 49010, Україна

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Адреса дільниці оперативної поліграфії:

вул. Лазаряна, 2, кім. 1201, м. Дніпро, 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)**

№ 6 (66) 2016

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – А. И. Миргородская

Компьютерная верстка – Л. А. Кобулия

Литературная обработка – О. М. Врублевская

Формат 60×84¹/₈. Ус. печат. лист. 23,13. Тираж 300 экз. Зак. № 37.

**Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна**

Адрес редакции, издателя:

ул. Лазаряна, 2, ком. 267, г. Днепро, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Адрес участка оперативной полиграфии:

ул. Лазаряна, 2, ком. 1201, г. Днепро, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 47-19-66, факс: +38 (056) 47-19-83



Scientific Edition

**NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU. VİSNIK DNİPROPETROVS'KOGO NACİONAL'NOGO
UNİVERSİTETU ZALİZNIČNOGO TRANSPORTU**

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

No. 6 (66) 2016

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – А. І. Myrhorodska

Computer makeup – Л. А. Kobuliya

Redaction – О. М. Vrublevska

Format 60×84¹/₈. Conventional printed sheet 23,13. Circulation 300. Order no 37.

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

Address of editor and editorial office

Lazaryan St., 2, r. 267, Dnipro, 49010, Ukraine

Tel.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Address of small offset printing office

Lazaryan St., 2, r. 1201, Dnipro, 49010, Ukraine

Tel.: +38 (056) 47-19-66, *Fax:* +38 (056) 47-19-83



СУЧАСНІ ЗАКЛАДИ ОСВІТИ - 2016
Сьома Міжнародна виставка

CERTIFICATE

якості наукових публікацій
УДОСТОЄНИЙ

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Міністерство освіти і науки України
Інститут модернізації змісту освіти

Директор

Н. Вяткіна

Підстав
показаний наукометричної
баз даних Scopus
за 2015 рік



Національна академія
педагогічних наук України

Президент

В. Кремень

Асоціація користувачів
Української науково-освітньої
телекомунікаційної мережі «Уран»

Голова Ради

Ю. Якименко

Україна, м. Київ



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

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2016. 6(66). 1-199