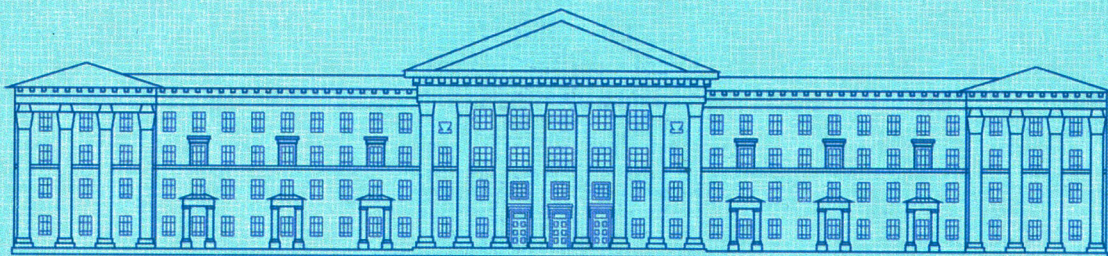




ISSN 2307-3489 (Print)
ISSN 2307-6666 (Online)



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

2(44)

•• 2013 ••

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Науковий журнал

2 (44) 2013

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

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

Дніпропетровськ

2013

Засновник:

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

ГОЛОВА РЕДАКЦІЙНОЇ РАДИ УНІВЕРСИТЕТУ

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛУ

ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

Пішінько О. М., доктор технічних наук

Мямлін С. В., доктор технічних наук

Козаченко Д. М., доктор технічних наук

Колесникова Т. О., кандидат наук
із соціальних комунікацій

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ (УКРАЇНА):

Аксѡнов І. М., Афанасов А. М., Банніков Д. О., Бараш Ю. С., Біляєв М. М., Бобирь Д. В., Бобровський В. І., Боднар Б. Є., Босов А. А., Вакулєнко І. О., Вєрхоглядова Н. І., Власова Т. І., Габринєць В. О., Гаврилук В. І., Гєтьман Г. К., Главацький К. Ц., Головокова Л. С., Гончаров К. В., Горобєць В. Л., Дорогань Т. Є., Доценко О. М., Жуковицький І. В., Заблудовський В. О., Каламбет С. В., Капица М. І., Ковтун В. В., Копитко В. І., Костін М. О., Кравець В. В., Краснюк А. В., Кривчик Г. Г., Кузнецов В. Г., Купцова Т. А., Курган М. Б., Муха А. М., Мухіна Н. А., Настєчик М. П., Нєтєса М. І., Очкасов О. Б., Петренко В. Д., Пічугов С. О., Пічурін В. В., Покотілов А. А., Полішко Т. В., Радкевич А. В., Радченко М. О., Ракша С. В., Рибкін В. В., Скалозуб В. В., Сніжко Л. О., Урсуляк Л. В., Штапенко Е. П., Яришкіна Л. О.

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

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

Журнал зарєєстровано Державною реєстраційною службою Міністерства юстиції України. Свідоцтво про реєстрацію КВ № 19609-9409ПР від 29.12.2012 р. Видання внесено до Переліку наукових фахових видань України постановами президії ВАК України № 1-05/6 від 16.12.2009 р. (технічні науки) та № 1-05/2 від 10.03.2010 р. (економічні науки). Журнал зарєєстровано в міжнародному каталозі періодичних видань Ulrichsweb™ Global Serials Directory. Друкується за рішенням вченої ради університету від 29.04.2013 р., протокол № 9

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

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

Видання публікується з 1936 р.:

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

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

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

(НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА)

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

Научный журнал

2 (44) 2013

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

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

Днепропетровск

2013

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

*ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО
СОВЕТА УНИВЕРСИТЕТА*

Пшинько А. Н., доктор технических наук

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА

Мямлин С. В., доктор технических наук

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Козаченко Д. Н., доктор технических наук

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Колесникова Т. А., кандидат наук

по социальным коммуникациям

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ (УКРАИНА):

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

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Анисимов П. С. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Бялонь А. (Научно-технический центр железнодорожного транспорта, Республика Польша); Васяк И. (Институт электроэнергетики, Республика Польша); Гусев Б. В. (Московский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация); Долежел И. (Академия наук, Чешская Республика); Зиммер К. (Электротехнический институт, Республика Польша); Казакевич М. И. (Федеративная Республика Германия); Лингайтис В. Л. (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва); Лингайтис Л. П. (Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва); Манашкин Л. А. (Технологический университет Нью-Джерси, США); Микульски Е. (Силезский технологический университет, Республика Польша); Сладковски А. (Силезский технологический университет, Республика Польша); Стележецки Р. (Гданьский морской университет, Республика Польша); Худзикевиц А. (Варшавский политехнический университет, Республика Польша);

Журнал
зарегистрирован Государственной регистрационной службой Министерства юстиции Украины.
Свидетельство о регистрации КВ № 19609-9409ПР от 29.12.2012 г.
Издание внесено в Перечень научных специализированных изданий Украины постановлением президиума ВАК Украины № 1-05/6 от 16.12.2009 г. (технические науки) и № 1-05/2 от 10.03.2010 г. (экономические науки).
Журнал зарегистрирован в международном каталоге периодических изданий Ulrichsweb™ Global Serials Directory.
Печатается по решению ученого совета университета от 29.04.2013 г., протокол № 9

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

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

Издание публикуется с 1936 г.:

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

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

NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU

VÌSNIK DNÌPROPETROVS'KOGO NACÌONAL'NOGO UNÌVERSITETU
ZALÌZNIČNOGO TRANSPORTU

(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

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

Scientific journal

2 (44) 2013

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

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

Dnipropetrovsk

2013

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

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

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

EDITORIAL BOARD MEMBERS (UKRAINE):

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

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

Anisimov P. (Moscow State University of Railway Engineering, Russian Federation); Byalon A. (Science and Technology Center of Railway Transport, Republic of Poland); Chudzikiewicz A. (Transport Warsaw University of Technology, Republic of Poland); Doležel I. (Academy of Sciences, Czech Republic); Gusev B. (Moscow State University of Railway Engineering, Russian Federation); Kazakevich M. (Federal Republic of Germany); Lingaitis L. P. (Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania); Lingaitis V. L. (Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania); Manashkin L. (New Jersey Institute of Technology, USA); Mikulski J. (Silesian University of Technology, Republic of Poland); Sladkowski A. (Silesian University of Technology, Republic of Poland); Strzelecki R. (Gdynia Maritime University, Republic of Poland); Wasiak I. (Institute of Electrical Power Engineering, Republic of Poland); Zimmer K. (Electrotechnical Institute, Republic of Poland)

Journal was registered by the State Registration Service of the Ministry of Justice of Ukraine.
 Certificate of Registration KB no.19609-9409PR from 29.12.2012
 Edition is included in the list of scientific professional publications of Ukraine by the Resolution of Presidium of HAC (Higher Attestation Commission) of Ukraine no. 1-05/6 from 16.12.2009 (technical sciences) and no. 1-05/2 from 10.03.2010 (economic sciences).
 Journal is registered in the International Catalogue of periodicals Ulrichsweb™ Global Serials Directory.
 Published according to the Academic Council decision of the University from 29.04.2013, Protocol no. 9

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

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

Edition is being published since 1936:

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

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 656.25-027.45

О. Ю. КАМЕНСЬВ^{1*}

^{1*}Каф. «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів», Українська державна академія залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, 61050, Харків, тел. +38 (057) 730 10 32, ел. пошта alexstein@meta.ua

ПРОБЛЕМАТИКА ПІДХОДІВ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИКОРИСТАННЯ ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Мета. Визначення впливу захисного стану ергатичних систем керування на залізничному транспорті на безпеку їх використання. Розроблення рекомендацій щодо його врахування при нормуванні та випробуваннях на етапі розробки і впровадження. **Методика.** Дослідження виконано на базі теорії надійності з використанням експоненціального закону розподілу відмов. **Результати.** Показано, що підтвердження відповідності ергатичних технічних засобів керування та регулювання руху поїздів певному рівню функціональної безпечності не є достатнім для гарантування безпеки їх використання. Встановлено, що захисна відмова ергатичної системи керування не виключає, а лише відстрочує небезпечний стан системи. **Наукова новизна.** Набули подальшого розвитку підхід та вимоги до дослідження безпеки використання ергатичних систем керування на залізничному транспорті. На відміну від попередніх вони враховують показники не тільки функційної безпечності, але й безвідмовності при нормуванні та доказі безпеки даних систем. **Практична значимість.** Врахування захисних відмов технічних засобів при випробуваннях на безпеку використання, а також нормування характеристик надійності систем керування відповідальними технологічними процесами на залізничному транспорті відповідно до запропонованого підходу дозволяє підвищити рівень їх безпеки використання в процесі експлуатації.

Ключові слова: безпека використання; функціональна безпечність; надійність; небезпечна відмова; захисна відмова; ергатична система керування; електрична централізація стрілок та сигналів; людський фактор

Постановка проблеми

Однією з основних умов впровадження нових систем залізничної автоматики і телемеханіки (ЗАТ) є забезпечення необхідного рівня безпеки використання. Найбільш повна інформація відносно нього може бути отримана за результатами випробувань, спрямованих на доказ безпеки розроблювальних пристроїв [14].

Без виконання даної процедури система ЗАТ не може бути впроваджена в експлуатацію на залізничному транспорті [1, 8, 11, 14].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Однією з головних проблем, яка виникає

при дослідженні безпеки використання системи керування (СК), є визначення факторів, які визначають безпечність її поведінки, та критеріїв, за якими вона оцінюється. В загальному випадку дані фактори та критерії регламентуються концепцією досягнення безпечності комплексу технічних засобів (КТЗ). Під цією концепцією розуміється сукупність положень, у відповідності з якими виконується побудова безпечної системи [4, 11, 14, 21]. Для мікропроцесорних систем ЗАТ прийнятим є положення, згідно з яким одиночні дефекти апаратних та програмних засобів не повинні призводити до небезпечних відмов та повинні помічатися із заданою ймовірністю при робочих і тестових впливах не

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

пізніше, ніж в системі відбудеться другий дефект [4]. Реалізація концепції безпеки базується на виборі відповідної стратегії. Згідно робіт [16, 21] можна виділити три основні стратегії безпеки: безвідмовність, відмовостійкість та безпечна поведінка при відмовах (рис. 1).

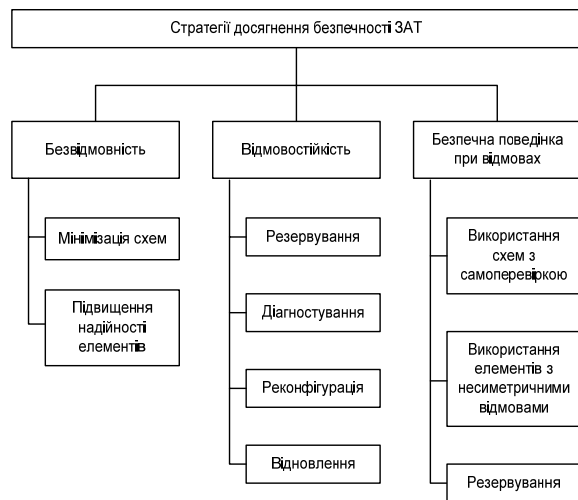


Рис. 1. Стратегії досягнення безпечності ЗАТ

Перші дві стратегії мають на увазі, що СК, яка правильно виконує свій алгоритм функціонування, безпечна. Третя стратегія полягає в переведенні системи в захисний стан при появі відмови. Мимовільний зворотний перехід в працездатний стан виключається і виконується штучним шляхом (за участю персоналу) [16].

В роботі [4] додатково пропонується використання ще двох стратегій: безпомилковості (безпечна поведінка при помилках персоналу) та завадостійкості (яка включає також безпечну поведінку при впливі електромагнітних завад).

Вважаючи помилку оператора як відмову елемента «людина» в системі «людина-машина», стратегію безпомилковості представимо частинним випадком кожної із трьох основних стратегій. Аналогічно, вважаючи дію електромагнітної завади частинним випадком впливу зовнішнього дестабілізуючого чинника електромагнітної природи відповідно до робіт [5, 11, 14], який може призвести до відмов окремих елементів КТЗ, стратегію завадостійкості ЗАТ також можна вважати частинним випадком кожної з трьох основних стратегій. Пояснення цьому можна надати у вигляді табл. 1.

При складанні даної концепції необхідно чітко уявлення сутності понять і термінів, які ха-

рактеризують небезпечність та безпечність об'єкта. Базовими серед даних понять слід вважати такі як: «небезпека», «безпека» та «функціональна безпечність (ФБ)» [4, 11, 14, 25].

Таблиця 1

Характеристика додаткових стратегій досягнення безпечності ЗАТ

Основна	Додаткова	
	Безпомилковість	Завадостійкість
Безвідмовність	Підвищення кваліфікації та поліпшення умов праці	Використання екранування та завадостійких елементів
Відмовостійкість	Резервування процесу введення відповідальних команд	Збереження працездатності при відмовах внаслідок дії завад
Безпечна поведінка при відмовах	Перевірка умов безпеки виконання команд оператора	Перехід в безпечний стан при відмовах, спричинених дією завад

Виділення невирішених частин загальної проблеми

Традиційно дослідження безпеки КТЗ виконується з використанням апарату теорії надійності, відокремлюючись в її розділ. Стосовно систем ЗАТ вихідним його пунктом є принцип розділення всіх позаштатних проявів КТЗ на «захисні» і «небезпечні». Властивості небезпечних проявів та засоби їх попередження становлять основу визначення ФБ [3, 5, 11, 14, 27].

При цьому окремі позаштатні прояви КТЗ, які традиційно відносяться до захисних, можуть становити потенційну загрозу для безпеки руху поїздів через провокування оперативного, обслуговуючого та керівного персоналу на неадекватні дії (порушення інструкцій та правил щодо забезпечення безпеки руху) [5, 11, 14].

Отже, традиційний підхід до дослідження безпеки використання ергатичних СК відповідальними технологічними процесами, який враховує тільки небезпечні відмови систем ЗАТ, не гарантує достатньої безпеки руху.

Формування цілей статті

Метою дослідження є визначення впливу захисних проявів ергатичних СК на стан безпеки руху і вироблення шляхів розвитку методології експериментального визначення (підтвердження) безпеки використання систем ЗАТ з

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

урахуванням даних проявів.

Основний матеріал дослідження

Як свідчить практика, найбільша кількість аварійних ситуацій виникає через помилкові дії людини, ймовірність яких становить $10^{-2} \dots 10^{-3}$, тобто людина в середньому припускає помилку на 100...1000 операцій [15, 13, 18].

Зокрема, на залізничному транспорті України людський фактор становить причину більш ніж 80 % транспортних подій [23]. При цьому в роботі [12] зазначається, що тенденція до зростання впливу «людського фактору» була започаткована лише з 70-х років XX століття, в той час як до цього 75 % всіх надзвичайних подій в техногенній сфері було викликано технічними причинами. Згідно роботи [12] дана тенденція пояснюється тим, що ускладнення техніки, її кількісне зростання, поява ще не вивчених технічних відмов та порушень неминуче створює передумови до збільшення ризику виникнення аварій. Можливості людини в запобіганні аварій також зростають за рахунок покращення освіти, підвищення кваліфікації тощо. Проте ці можливості з часом стають все більш помітно відставати від прискореного розвитку та розширених можливостей сучасної техніки та технологій. Дане співвідношення схематично зображується графіками на рис. 2 у формі збільшення з часом «зони відставання» зростання можливостей людини-оператора від швидких темпів розвитку (ускладнення) техніки [12].

Враховуючи потенційну загрозу небезпечної помилки з боку оперативного та обслуговуючого персоналу, однією з найважливіших функцій систем ЗАТ з позиції гарантування безпеки руху є зведення до мінімуму людського фактору [5, 11, 19].

Проте, враховуючи соціально-економічну значущість залізничного транспорту, непрацездатний захисний стан окремих пристроїв ЗАТ не може бути причиною суттєвого простою в русі поїздів та виконанні маневрової роботи, якщо технічний стан інших об'єктів інфраструктури (колій, засобів тяги, рухомого складу тощо) фактично є справним і працездатним.

З метою забезпечення безперебійної роботи залізничного транспорту у разів відмов засобів сигналізації та зв'язку передбачений особливий порядок роботи (так званий «допоміжний режим» функціонування), регламентований ря-

дом нормативних документів, а також місцевими інструкціями підприємств залізничного транспорту [6, 19]. Проте в даних умовах людський фактор, не зведений до мінімуму або недостатньо зведений пристроями ЗАТ, стає основною загрозою безпеці руху [5, 11, 14].

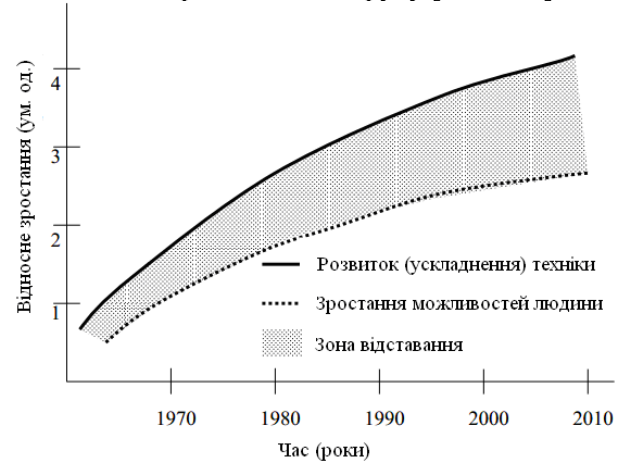


Рис. 2. Співвідношення розвитку техніки та можливостей людини

Для ергатичних (людино-машинних) СК на залізничному транспорті, найбільш поширеними з яких є системи електричної централізації стрілок та сигналів (ЕЦ), в умовах, коли технологічний процес роботи станцій виконується за принципом єдиного керівника – чергового по станції (ДСП), дана проблема відчувається особливо гостро. Порушення в нормальній роботі пристроїв ЕЦ призводить до необхідності допоміжного переведення стрілок або переведення їх вручну, організації поїзної та маневрової роботи за забороняючими сигналами світлофорів, що потенційно може відбуватися без належного контролю безпеки виконання тих чи інших операцій в несправному стані [6, 9, 19, 22]. Як свідчать дослідження в галузі психології, для більшості людей характерними є стереотипність поведінки при різних типових ситуаціях та прагнення найлегшого шляху вирішення поставлених задач [7, 10, 26]. Виходячи з цього, у разі стійкої непрацездатності системи ЕЦ або її окремих компонентів, створюються передумови для масових помилкових або свідомо неправильних дій оперативного персоналу (в т.ч. і порушення правил безпеки руху), що з високою вірогідністю може призвести до небезпечних ситуацій на об'єкті транспорту.

Процес виконання команди керування в си-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

системі ЕЦ можна представити у вигляді функціональної схеми, зображеної на рис. 3 [9, 22].

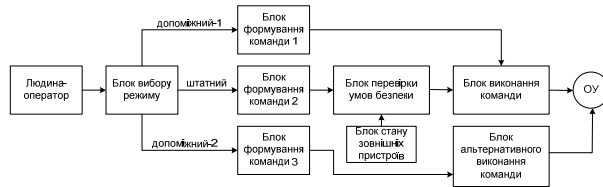


Рис. 3. Функціональна схема передачі команди керування в системах ЕЦ

Команда людини-оператора (ДСП) перед реалізацією на об'єкті керування (ОУ) проходить ряд логічних блоків, які можуть бути реалізованими на основі програмних, апаратних або інших ресурсів. В штатному режимі функціонування, який характеризується справним станом сіх пристроїв тракту передачі команди керування від оператора до ОУ, всі команди проходять перевірку умов безпеки виконання, які визначаються, як правило, станом зовнішніх пристроїв ЕЦ, з якими ОУ пов'язаний логічними залежностями (наприклад, стан стрілочної ділянки при переведенні стрілки) [9, 21, 22].

Небезпечна відмова блоку перевірки умов безпеки, внаслідок якої команди проходять без перевірки умов безпеки, вважається небезпечною відмовою системи ЕЦ в цілому. В цьому випадку безпека ЕЦ визначається лише безпечністю її складових компонентів [11, 14, 21].

У разі захисної відмови зовнішнього пристрою, внаслідок якої блокується можливість штатного керування ОУ (наприклад, хибна зайнятість стрілочної секції), передача команди керування, якщо пошкодження зовнішнього пристрою не усувається в прийнятний час, можлива в першому допоміжному режимі, при активації якого команда керування проходить без перевірки логічних умов безпеки (наприклад, перевід стрілки під ВК). У цьому випадку безпека системи ЕЦ визначається безпечністю оператора і пристроїв введення та виконання команд керування [2, 11, 14].

У разі захисної відмови блоку виконання команди (наприклад, стрілочного контролера в мікропроцесорних ЕЦ) керування здійснюється альтернативними засобами, які визначають другий допоміжний режим. У більшості випадків дані засоби визначаються людськими ресурсами, які виконують регулювання рухом за допомогою ручних сигнальних приладів та

пристроїв зв'язку, а також виконують ручне переведення стрілок. У даному випадку безпека системи визначається виключно безпекою оператора та його підлеглих [2, 5, 11, 14, 13, 18, 21].

Виходячи з рис. 3, систему ЕЦ можна розглядати як три альтернативні підсистеми з різними ступенями ФБ, з яких тільки одна знаходиться в активному стані, а інші – в пасивному (стан визначається режимом функціонування). Враховуючи, що для пристроїв ЗАТ поняття безпеки має сенс лише в динаміці (при виконанні своїх функцій) та позбавлене сенсу в умовах простою [25], захисний стан ЕЦ можна вважати безпечним лише протягом часу T припустимого простою в поїзній та маневровій роботі ділянки станції, в логічних блоках керування якої виникла захисна відмова. Відлік часу T починається з моменту захисної відмови. Величина часу T визначається конкретною ситуацією і залежить від завантаженості станції поїзною та маневровою роботою, місця виникнення пошкодження, наявності варіантних маршрутів в обхід місця пошкодження тощо. Згідно робіт [2, 18] надійність людини-оператора може бути оцінена за чисельними показниками надійності технічних систем. Тоді, якщо протягом часу T пошкодження, яке є наслідком захисної відмови, не усувається, та відповідний пристрій не переходить у справний стан зусиллями обслуговуючого персоналу, то ймовірність небезпечної відмови системи ЕЦ при експоненціальному законі надійності, якщо знехтувати параметрами безпечності технічних компонентів системи в допоміжному режимі, можна визначити наступним чином:

$$Q_{\text{н ЕЦ}} = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda_{\text{н ЕЦ}} t}, & t < t_3 \text{ або } t \geq t_3 + T + \Delta t, \\ 0, & t_3 \leq t < t_3 + T, \\ 1 - e^{-n \lambda_{\text{н люд}} (t - t_3 - T)}, & t_3 + T \leq t < t_3 + T + \Delta t, \end{cases} \quad (1)$$

де $\lambda_{\text{н ЕЦ}}$ – інтенсивність небезпечних відмов ЕЦ в штатному режимі;

t – поточний час експлуатації системи ЕЦ;

t_3 – момент виникнення захисної відмови;

Δt – перевищення часу відновлення справного стану відповідного вузла системи ЕЦ над часом припустимого простою T ;

$\lambda_{\text{н люд}}$ – інтенсивність небезпечних відмов (помилки) людини;

n – кількість людей, безпосередньо задіяних

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

в виконанні команди в допоміжному режимі функціонування ЕЦ.

Згідно формули (1) час усунення пошкодження, викликаного відмовою, становить:

$$t_y = T + \Delta t. \quad (2)$$

Як було зазначено вище, після переходу ЕЦ в захисний стан, її слід вважати окремою системою, час експлуатації якої починається з моменту $t_3 + T$, тому відносно загальної часової осі в формулі (1) в період найбільш небезпечного періоду експлуатації Δt початок координат зсувається на значення: $-(t_3 + T) = -t_3 - T$.

На рис. 4 побудовані за формулою (1) графіки залежності ймовірностей небезпечної відмови системи ЕЦ в допоміжному режимі $Q_{1\text{н.ЕЦ}}(t_{\text{н.ЕЦ}})$, $Q_{2\text{н.ЕЦ}}(t_{\text{н.ЕЦ}})$, $Q_{3\text{н.ЕЦ}}(t_{\text{н.ЕЦ}})$ від часу $t_{\text{н.ЕЦ}} = t - (t_3 + T) = t - t_3 - T$ найбільш небезпечної експлуатації відповідно при одному (лише ДСП), двох (ДСП + сигналіст) та трьох (ДСП + сигналіст + особа, що переводить стрілки вручну) чоловік, задіяних в технологічному циклі виконання команди керування (операції).

Графіки на рис. 4 побудовані з припущенням, що кожен учасник технологічного циклу виконує однакову кількість операцій за годину (100 шт.), учасник в середньому припускає одну помилку на 1000 операцій, а кількість небезпечних помилок учасника становить 10 % від загальної кількості. Тоді $\lambda_{\text{н.люд}} = 10^{-5}$ 1/год [2, 12, 15, 21].

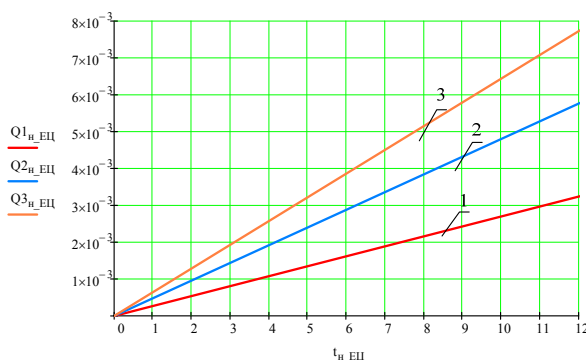


Рис. 4. Залежності ймовірності небезпечної відмови ЕЦ в допоміжному режимі від часу:
1 – 1 чол.; 2 – 2 чол.; 3 – 3 чол.

При побудові графіків враховано, що тривалість зміни оперативного персоналу складає 12 годин. Також додатково припущено, що пошкодження, викликане захисною відмовою, не усувається протягом зміни (що може бути в

неробочий час для обслуговуючого персоналу з щоденним графіком роботи).

Вважаючи заміну оперативних працівників поточної зміни заміною елементів СК, аналіз залежності ймовірності небезпечної відмови від часу за межами однієї зміни позбавлений сенсу, оскільки в даному випадку (при внесенні нових елементів) процес функціонування системи необхідно розглядати спочатку [2, 11, 14, 18].

Як видно з рис. 4, ймовірність небезпечної відмови системи вже після першої години експлуатації для всіх залежностей перевищує припустиме значення, яке становить 10^{-6} [21].

Відповідно до Міжнародної шкали прийнятності індивідуального інтегрального ризику життєдіяльності, градація ризиків за ступенями прийнятності зображується табл. 2 [2].

Таблиця 2

Шкала прийнятності інтегрального ризику

Рівень ризику (ймовірність небезпечної події)	Оцінка прийнятності ризику
$>10^{-2}$	Винятково високий
$10^{-3} - 10^{-2}$	Дуже високий
$10^{-4} - 10^{-3}$	Високий
$10^{-6} - 10^{-4}$	Відносно невисокий
$<10^{-6}$	Невисокий (припустимий)

Відповідно до табл. 2 та рис. 4 ступінь ризику вже на початку зміни ДСП у допоміжному режимі можна охарактеризувати як високий, в середині – як дуже високий, а під кінець зміни – наближається до винятково високого (в залежності від кількості учасників операції).

Під кінець зміни фактична ймовірність небезпечної відмови перевищує значення припустимого ризику більш ніж на три порядки, навіть при наявності лише однієї людини в технологічному циклі, а при наявності трьох – майже на чотири порядки. Даний стан не є припустимим з позиції національних та міжнародних документів з безпеки використання технічних систем [5, 17, 28, 30]. З позиції національного стандарту ДСТУ 4178-2003 [5] процес переходу у захисний стан ЕЦ, яка відповідає четвертому рівню безпечності ($Q_{\text{н.ЕЦ}}(t)/t \approx \lambda_{\text{н.ЕЦ}} < 0,14 \times 10^{-10}$ 1/год), слід розглядати як падіння фактичної безпеки використання нижче належного значення на декілька порядків (рис. 5).

Таким чином, за умови $t_y > T$ захисну відмо-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

ву системи ЕЦ можна розглядати як частинний випадок небезпечної відмови з відстрочкою на час T настання небезпечного стану.



Рис. 5. Перехід системи ЕЦ в небезпечний стан після захисної відмови

Тому період $(t_3 + T; t_3 + T + \Delta T)$ можна вважати «умовно-захисним» станом, тобто таким, що є захисним з позиції ФБ, але, в той же час, небезпечним з точки зору безпеки руху. Його можна вважати частинним випадком небезпечного стану ергатичної СК на транспорті.

Висновки з дослідження

Стратегія досягнення безпечності відповідальних СК, в т.ч. мікропроцесорних ЕЦ, повинна базуватися як мінімум на двох принципах: безпечній поведінці при відмовах та безвідмовності. Звідси випливає, що дослідження безпеки використання ергатичних СК повинно проводитися невід'ємно до характеристик надійності, а виділення характеристик ФБ має бути виконане лише на кінцевих етапах дослідження. Забезпечення безпеки руху має бути результатом комплексних заходів по забезпеченню надійності пристроїв ергатичних СК, в т.ч. їх ФБ як невід'ємної складової надійності.

Додатково можна зробити висновок про необхідність нормування показників не тільки ФБ, але й безвідмовності СК на транспорті, а також підтвердження відповідності СК даним нормативним значенням у процедурі доказу безпеки використання даних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов, В. М. Характеристики надёжности и функциональной безопасности структур железнодорожной автоматики / В. М. Абрамов, Б. Д. Никифоров, Д. В. Шалягин // Вестн. ВНИИЖТ. – 2006. – № 1. – С. 32–38.
2. Бантюкова, С. О. Оцінка надійності діяльності

оператора у системі «людина-техніка» / С. О. Бантюкова // Зб. наук. праць Укр. державної акад. залізн. трансп. – 2010. – Вип. 113. – С. 51–56.

3. Безопасность железнодорожных перевозок. Классификатор опасных отказов технических средств хозяйства дальних пассажирских перевозок [Электронный ресурс] / СТО РЖД 1.02.010-2006. – 2006. – 17 с. – Режим доступа: <http://www.ttgdt.edu.ru/students/railway/sto/sto%20rzd%201.02.010-2006.pdf>. – Загл. с экрана.
4. Бочков, К. А. Методы обеспечения безопасности в микропроцессорных системах железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие / К. А. Бочков, С. Н. Харлан. – Гомель : БелГУТ, 2001. – 84 с.
5. Державний стандарт України ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробовування. – Надано чинності 2003-07-01. – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 32 с.
6. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України : затв. наказом Мін-ва трансп. зв'язку України від 31 серп. 2005 р. № 507 / Мін-во трансп. та зв'язку України. – К. : ТОВ «Імпрес», 2005. – 462 с.
7. Клеббельсберг, Д. Транспортная психология. / Д. Клеббельсберг. – М. : Транспорт, 1989. – 367 с.
8. Козлов, П. А. Особенности современных систем обеспечения безопасности / П. А. Козлов // Железнодорожный транспорт. – 2002. – № 5. – С. 27–28.
9. Кокурин, И. М. Эксплуатационные основы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учебник для вузов ж.-д. трансп. / И. М. Кокурин, Л. Ф. Кондратенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1989. – 184 с.
10. Котик, М. А. Психология и безопасность / М. А. Котик. – Таллин : Валгус, 1989. – 448 с.
11. Кустов, В. Ф. Основы теории надёжности та функціональної безпечності систем залізничної автоматики : навч. посібник для вузів / В. Ф. Кустов. – Х. : УкрДАЗТ, 2008. – 218 с.
12. Либерман, А. Н. Техногенная безопасность: человеческий фактор / А. Н. Либерман. – СПб. : ВИС, 2006. – 104 с.
13. Макаренко, Л. М. Вплив людського чинника на безпеку руху залізничного транспорту: аналітичний огляд / Л. М. Макаренко // Залізн. трансп. України. – 2010. – № 1. – С. 46–51.
14. Методика доказу функціональної безпеки мікроелектронних комплексів систем керування та регулювання рухом поїздів : затв. та введ. в дію наказом Укрзалізниці № 452-Ц від 17.08.2001 р. – К. : ПП «Алькор», 2002. – 106 с.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

15. Надёжность железнодорожных операторов как фактор безопасности движения / В. Г. Брусенцов, М. И. Ворожбян, О. В. Брусенцов, И. И. Бугайченко, А. В. Гончаров // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 2. – С. 68–72.
16. Основные принципы обеспечения безопасности и безотказности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики [Электронный ресурс] // Памятка ОСЖД Р-858. – Варшава, 2006. – 24 с. – Режим доступа: <http://osjd.org/doco/public/P 858.pdf>. – Загл. с экрана.
17. Основные эксплуатационно-технические требования к устройствам СЦБ железных дорог членов ОСЖД [Электронный ресурс] // Памятка ОСЖД Р-800. – Варшава, 2001. – 16 с. – Режим доступа: <http://osjd.org/doco/public/P 800.pdf>. – Загл. с экрана.
18. Пирик, К. Система «человек-машина» в управлении транспортными процессами / К. Пирик // Железные дороги мира. – 1974. – № 7. – С. 70–72.
19. Правила технічної експлуатації залізниць України : затв. наказом Міністерства транспорту України від 20 груд. 1996 р. № 411 [із змін. і доп., станом на 19.03.2002 р.] / Міністерство транспорту України. – К. : ТОВ «НВП Поліграф-сервіс», 2003. – 133 с.
20. Раздорожный, А. А. Охрана труда и производственная безопасность : учебно-методическое пособие / А. А. Раздорожный. – М. : Изд-во «Экзамен», 2005. – 512 с.
21. Сапожников, В. В. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Талалаев. – М. : Транспорт, 1997. – 288 с.
22. Сапожников, Вл. В. Станционные системы автоматики и телемеханики : учеб. для вузов жд. трансп. / Вл. В. Сапожников, Б. Н. Елкин, И. М. Кокурин ; под. ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Транспорт, 1997. – 432 с.
23. Системний економічний підхід до безпеки руху поїздів : збірник наук. пр. / В. В. Шевченко, О. М. Пшинько, Д. М. Козаченко, В. В. Шевченко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 26. – С. 236–238.
24. Степанов, Б. М. Теоретические основы обеспечения безопасности жизнедеятельности / Б. М. Степанов. – М. : ВА РВСН, 2001. – 351 с.
25. Тарадин, Н. А. Методы оценки безопасности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики : дис. ... канд. тех. наук : 05.22.08 / Николай Александрович Тарадин ; Московский государственный университет путей сообщения. – М. : МГУПС, 2010. – 209 с. – Библиогр. : С.167–179.
26. Хаккер, В. Инженерная психология и психология труда: Психологическая структура и регуляция видов трудовой деятельности / В. Хаккер ; под ред. В. Ф. Венды, А. А. Крылова. – М. : Машиностроение, 1985. – 376 с.
27. Шостак, Р. Н. Управление рисками возникновения аварийных событий под час перевезення нафти і нафтопродуктів залізничним транспортом / Р. Н. Шостак // Науковий вісн. УкрНДІПБ. – 2011. – № 1. – С. 156–162.
28. Эксплуатационно-технические требования к системам микропроцессорной и релейно-микропроцессорной централизации [Электронный ресурс] // Памятка ОСЖД Р-844. – Варшава, 2004. – 23 с. – Режим доступа: <http://osjd.org/doco/public/P 844.pdf>. – Загл. с экрана.
29. Madeley, M. Rail safety: Proposals for Regulations on train protection systems and mark 1 rolling stock. Consultative document / M. Madeley. – London : Health & Safety Commission, 1998. – 49 p.
30. Peter, B. The Concepts of IEC 61508. An Overview and Analysis / B. Peter. – Bielefeld : RVS, 2005. – 52 p.

А. Ю. КАМЕНЕВ^{1*}

^{1*}Каф. «Автоматика и компьютерное телеуправление движением поездов», Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, 61050 Харьков, тел. +38 (057) 730 10 32, эл. почта alexstein@meta.ua

ПРОБЛЕМАТИКА ПОДХОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Цель. Определение влияния защитного состояния эргатических систем управления на железнодорожном транспорте на безопасность их применения. Составление рекомендаций относительно его учета при

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

нормировании и испытаниях на этапе разработки и внедрения. **Методика.** Исследование выполнено на базе теории надежности с использованием экспоненциального закона распределения отказов. **Результаты.** Показано, что подтверждение соответствия эргатических технических средств управления и регулирования движения поездов определенному уровню функциональной безопасности не является достаточным для гарантирования безопасности их применения. Установлено, что защитный отказ эргатической системы управления не исключает, а лишь отсрочивает опасное состояние системы. **Научная новизна.** Получили дальнейшее развитие подход и требования к исследованию безопасности применения эргатических систем управления на железнодорожном транспорте. В отличие от предыдущих они учитывают показатели не только функциональной безопасности, но и безотказности при нормировании и доказательстве безопасности данных систем. **Практическая значимость.** Учет защитных отказов технических средств при испытаниях на безопасность применения, а также нормирование характеристик надежности систем управления ответственными технологическими процессами на железнодорожном транспорте в соответствии с предложенным подходом позволяет повысить уровень их безопасности применения в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: безопасность применения; функциональная безопасность; надежность; опасный отказ; защитный отказ; эргатическая система управления; электрическая централизация стрелок и сигналов; человеческий фактор

O. Y. KAMENYEV^{1*}

^{1*}Dep. "Automation and computer remote control of train traffic," Ukrainian State Academy of Railway Transport, Sq. Feuerbach, 7, 61050 Kharkov, tel. +38 (057) 730 10 32, e. mail alexstein@meta.ua

PROBLEMATICS OF APPROACHES TO RESEARCH OF THE USE SAFETY OF ERGATIC CONTROL SYSTEMS ON RAILWAY TRANSPORT

Purpose. Determination of the protective state influence of ergatic control system on a railway transport on their use safety. Making recommendations concerning its accounting for regulations and testing during the development and implementation. **Methodology.** Research is executed on the base of reliability theory with the use of exponential law of refusals distribution. **Findings.** It is shown that confirmation of ergatic technical control facilities accordance and trains traffic arrangement to certain functional level of security is not sufficient for guaranteeing of their use safety. It is established that the protective refusal of ergatic control system does not exclude, but only postpones the dangerous condition of the system. **Originality.** Further development of approach and requirements to research of use safety of ergatic control system on a railway transport are received. Unlike previous they take into account the indexes of not only functional unconcern, but also faultlessness at setting of norms and proof of these systems safety. **Practical value.** Accounting of protective refusals of technical facilities at tests on their safety application, and also setting of norms of characteristics reliability of control systems by responsible technological processes on a railway transport in accordance with offered approach allows to increase level of their use safety in the exploitation process.

Keywords: use safety; functional unconcern; reliability; dangerous refusal; protective refusal; ergatic control system; electric interlocking of pointers and signals; human factor

REFERENCES

1. Abramov V.M., Nikiforov B.D., Shalyagin D.V. Kharakteristiki nadezhnosti i funktsionalnoy bezopasnosti struktur zheleznodorozhnoy avtomatiki [Descriptions of reliability and functional safety of railway automation structures]. *Vestnyk VNIYZhT – Bulletin of All-Russian Research Institute of Railway Transport*, 2006, no. 1. pp. 32-38.
2. Bantiukova S.O. Otsinka nadiinosti diialnosti operatora u systemi «liudyna-tekhnik» [An estimation of reliability of activity of operator is in the system «man-technique»]. *Zbirnyk naukovykh prats ukraïnskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu* [Collection of scientific labours of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2010, issue 113, pp. 51-56.
3. Bezopasnost zheleznodorozhnykh perevozok. Klassifikator opasnykh otkazov tekhnicheskikh sredstv khozyaystva dálnikh passazhirskikh perevozok. (Safety of railway transportations. Classifier of dangerous

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- refuses of hardwares of distant passenger transportations economy). Moscow, *RZhD Publ.*, 2006. 17 p. Available at: <http://www.ttgdtd.edu.ru/students/railway/sto/sto%20rzd%201.02.010-2006.pdf>. (Accessed 15 March 2013).
4. Bochkov K.A., Kharlap S.N. *Metody obespecheniya bezopasnosti v mikroprotssornykh sistemakh zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Methods of safety providing in microsystems of railway automation and remote control]. Gomel, BelGUT Publ., 2001. 84 p.
 5. Brusentsov O.V., Vorozhbiyan M.I., Bugaychenko I.I., Goncharov A.V. Nadezhnost zheleznodorozhnykh operatorov kak faktor bezopasnosti dvizheniya [Reliability of railway operators as a factor of motion safety]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti – Informative-controlling systems on a railway transport*, 2009, no. 2. pp. 68-72.
 6. DSTU 4178-2003. *Kompleksy tekhnichnykh zasobiv system keruvannia ta rehuliuivannia rukhu poizdiv. Funktsiina bezpechnist i nadiinist. Vymohy ta metody vyprovovuvannia* [State Standard 4178-2003. Hardware complexes of trains traffic control and regulation systems. Functional safety and reliability. Requirements and methods of the test]. Kyiv, Derzhpozhyvstandart Ukrainy Publ., 2003. 32 p.
 7. *Pro zatverdzhennia instruktii z rukhu poizdiv i manevrovoi roboty na zaliznytsiakh Ukrainy: nakaz Ministerstva transportu ta zviazku Ukrainy* [On approval instruction from motion of trains and shunt work on the railways of Ukraine]. Kyiv, Impres Publ., 2005. 462 p.
 8. Klebelsberg D. *Transportnaya psikhologiya* [Transport psychology]. Moscow, Transport Publ., 1989. 367 p.
 9. Kozlov P.A. Osobennosti sovremennykh sistem obespecheniya bezopasnosti [Features of modern safety providing systems]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway transport*, 2002, no. 5. pp. 27-28.
 10. Kokurin Y.M., Kondratenko L.F. *Ekspluatatsionnye osnovy ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Operating bases of devices of railway automation and remote control]. Moscow, Transport Publ., 1989. 184 p.
 11. Kotik M.A. Psikhologiya i bezopasnost [Psychology and safety]. Tallinn, Valhus Publ., 1989. 448 p.
 12. Kustov V.F. Osnovy teorii nadiinosti ta funktsionalnoi bezpechnosti system zaliznychnoi avtomatyky [Bases of reliability theory and functional safety of the railway automation systems]. Kharkiv, UkrDAZT Publ., 2008. 218 p.
 13. Liberman A.N. *Tekhnogennaya bezopasnost: chelovecheskiy faktor* [Technogenic safety: human factor]. Saint-Petersburg, VIS Publ., 2006. 104 p.
 14. Makarenko L.M. Vplyv liudskoho chynnyka na bezpeku rukhu zaliznychnoho transportu: analitychnyi ohliad [Influence of human factor is on safety of motion of railway transport: state-of-the-art review]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2010, no. 1, pp. 46-51.
 15. *Metodyka dokazu funktsionalnoi bezpeky mikroelektronnykh kompleksiv system keruvannia ta rehuliuivannia rukhom poizdiv* [Methodology of functional safety proof of microelectronic control and adjusting system complexes of trains motion]. Kyiv, Alkor Publ., 2002. 106 p.
 16. *Osnovnyye printsipy obespecheniya bezopasnosti i bezotkaznosti mikroprotssornykh sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Basic principles of safety and reliability providing of microsystems of railway automation and remote control]. Warsaw, *OSZhD Publ.*, 2006. 24 p. Available at: <http://osjd.org/doco/public/P 858.pdf>. (Accessed 15 March 2013).
 17. *Osnovnyye ekspluatatsionno-tekhnicheskiye trebovaniya k ustroystvam STsB zheleznykh dorog chlenov OSZhD*. [The basic operating-technical requirements to signaling, centralization and blocking devices at railways of Railways Collaboration members]. Warsaw, *OSZhD Publ.*, 2001. 16 p. Available at: <http://osjd.org/doco/public/P 800.pdf>. (Accessed 15 March 2013).
 18. Pirik K. Sistema «chelovek-mashina» v upravlenii transportnymi protsessami [System «man-machine» in a control of transport processes]. *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the world*, 1974, no. 7, pp. 70-72.
 19. *Pro zatverdzhennia Pravyl tekhnichnoi ekspluatatsii zaliznyts Ukrainy: nakaz Ministerstva transportu ta zviazku Ukrainy* [On approval Rules of technical exploitation of Ukraine railways]. Kyiv, NVP Polihrafservis Publ., 2003. 133 p.
 20. Razdorozhnyy A.A. *Okhrana truda i proizvodstvennaya bezopasnost* [Labour protection and production safety]. Moscow, Ekzamen Publ., 2005. 512 p.
 21. Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.I., Talalayev V.Y. *Sertifikatsiya i dokazatelstvo bezopasnosti sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki* [Certification and safety proof of railway automation systems]. Moscow, Transport Publ., 1997. 288 p.
 22. Sapozhnikov V.I., Yelkin B.N., Kokurin Y.M. *Stantsionnyye systemy avtomatiki i telemekhaniki* [Station systems of automation and remote control]. Moscow, Transport Publ., 1997. 432 p.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

23. Stepanov B.M. *Teoreticheskiye osnovy obespecheniya bezopasnosti zhiznedeyatelnosti* [Theoretical bases of providing of vital functions safety]. Moscow, VA RVS Publ., 2001. 351 p.
24. Taradin N.A. *Metody otsenki bezopasnosti funktsionirovaniya sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* Kand. Diss. [Methods of functioning safety of railway automation and remote control systems estimation. PhD Diss.]. Moscow, 2010. 209 p.
25. Khakker V., Venda V.F., Krylov A.A. *Inzhenernaya psikhologiya i psikhologiya truda: Psikhologicheskaya struktura i regulyatsiya vidov trudovoy deyatelnosti* [Engineering psychology and psychology of labour: Psychological structure and adjusting of types of labour activity]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1985. 376 p.
26. Shevchenko V.V., Pshynko O.M., Kozachenko D.M., Shevchenko V.V. Systemnyi ekonomichnyi pidkhid do bezpeky rukhu poizdiv [Economic approach of the systems is to safety of motion of trains]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 26, pp. 236-238.
27. Shostak R.N. Upravlinnia ryzykamy vynyknennia avariinykh podii pid chas perevezennia nafty i naftoproduktiv zaliznychnym transportom [Management of origin of emergency events risks during transportation of oil and naftoproduktiv by a railway transport]. *Naukovyi visnyk UkrNDIPB* [Scientific bulletin of Ukrainian research institute of fire safety], 2011, no. 1. pp. 156-162.
28. *Ekspluatatsionno-tekhnycheskiye trebovaniya k sistemam mikroprotsessornoy i releyno-mikro-protsessornoy tsentralizatsii* [Operating-technical requirements to the systems of microprocessor and relay-mikroprocessor interlocking of pointers and signals]. Warsaw, OSZhD Publ., 2004. 23 p. Available at: <http://osjd.org/doco/public/P 844.pdf>. (Accessed 15 March 2013).
29. Madeley M. Rail safety: Proposals for Regulations on train protection systems and mark 1 rolling stock. Consultative document. London: Health & Safety Commission Publ., 1998. 49 p.
30. Peter B. The Concepts of IEC 61508. An Overview and Analysis. Bielefeld, RVS Publ., 2005. 52 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. Б. Бойніком (Україна), д.ф.-м.н., проф. В. І. Гаврилюком (Україна)

Надійшла до редколегії 14.03.2013

Прийнята до друку 02.04.2013

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 004.02:510.5

А. А. КОСОЛАПОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Електронні висчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, г. Дніпропетровськ, Україна, тел./факс +38 (050) 575 05 32, ел. пошта akanarsky@mail.ru

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ НЕЧЁТКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ РАЗМЫТЫХ МНОЖЕСТВ

Цель. Разработка методики расчёта надёжности нечетких систем с компонентами, параметры надежности которых описываются функциями принадлежности различного вида. **Методика.** Используется системный анализ известных подходов к оценке показателей надёжности нечётких систем с размытыми границами и различными видами функций принадлежности. **Результаты.** Предложено унифицированное описание и новый табличный алгоритм выполнения различных арифметических операций между разными видами расплывчатых множеств и разработаны табличные методы анализа надежности основных структур нечетких систем. **Научная новизна.** Введено обобщённое описание треугольных и трапециевидных функций принадлежности с размытыми границами в виде специальных кортежей $\langle [a_1, b_{11}, b_{12}, c_1]; [a_2, b_{21}, b_{22}, c_2]; \mu_1, \mu_2 \rangle$, получены аналитические выражения для табличного формирования графиков соответствующих функций и расчёта показателей надёжности нечётких систем сложной структуры: последовательных, с резервированием – параллельных, последовательно-параллельных, параллельно-последовательных. **Практическая значимость.** Полученные модели и табличные алгоритмы упрощают расчёты показателей надёжности сложных электронно-механических человеко-машинных систем автоматизации с нечёткими параметрами и размытыми границами.

Ключевые слова: нечеткая надежность; нечеткие множества; размытые множества; функция принадлежности истине (ФПИ); функция принадлежности лжи (ФПЛ); табличные модели

Введение

Надежность является вероятностной характеристикой системы, которая показывает, будет ли система выполнять возложенные на неё функции. Традиционно, надежность системы полностью описывается в контексте вероятностных измерений, но это до тех пор, пока информация о событиях в системе является достоверной. В реальных системах информация часто неточна и зависит от лингвистического представления. В этих условиях во многих случаях получить оценки точного значения вероятности становится всё труднее и труднее. Для того, чтобы справиться с недостаточной информацией, используется нечеткий подход [1] для оценки аварийного (неработоспособного) состояния.

Д. Сингер [8] представил нечеткий подход для построения дерева отказов и анализа надёжности, в котором относительные частоты основных событий рассматриваются как нечеткие числа.

К. Кай [2] отметил, что традиционная теория

надежности основана на двух основных предположениях.

(А) Предположение о бинарных (двоичных) состояниях: система точно определяется двумя состояниями – работоспособна или неработоспособна.

(Б) Предположение о вероятностях: поведение системы полностью характеризуется в контексте вероятностных измерений.

Тем не менее, из-за неточности и неполноты исходных данных, оценка точных значений вероятности становится во многих системах затруднительной. Далее К. Кай представил новые два предположения.

(А') Предположение о нечётком состоянии: понимание отказа системы нельзя точно определить разумным путём. В любой момент времени система может находиться в одном из двух состояний: нечёткое состояние работоспособности или нечёткое состояние неработоспособности.

(Б') Предположение возможности: поведение системы может быть полностью охарактеризовано в контексте измерения возможностей.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

К. Кай [1] представил следующие три формы «нечёткой теории надёжности».

(I) ProFuSt – теория надёжности: основана на предположениях вероятностей и нечетких состояний.

(II) PosBiSt – теория надёжности: основана на предположениях возможностей и бинарных состояний.

(III) PosFuSt – теория надёжности: основана на предположении возможностей и нечётких состояний.

С. Чень и Д. Мон [5] использовали интервальные зависимости для анализа надёжности нечетких системы. С помощью теоретических исследований и вычислительных экспериментов они показали, что предлагаемый ими подход является более общим по сравнению с методом А. Кумар [6].

С. Чэнь [3] представил новый метод анализа надёжности нечеткой системы с использованием упрощённых арифметических операций над нечеткими числами вместо сложных интервальных нечетких арифметических операций или сложных алгебраически расширенных нечетких чисел [6]. Далее С. Чэнь представил новый метод нечёткого анализа надёжности системы, основанный на упрощённых нечётких арифметических операциях на нечетких временных рядах с α -отсечениями.

В. Гау и Д. Байер [5] расширили идею нечётких множеств размытыми множествами. С. Чен [3] предложил арифметические операции над размытыми множествами и на этой основе представил новый метод анализа надёжности нечеткой системы.

А. Кумар [6] расширил понятие треугольного размытого множества [1] идеей трапециевидных размытых множеств и предложил новые методы анализа надёжности нечёткой системы.

До сих пор в литературе обсуждаются вопросы выполнения арифметических операций между различными типами размытых множеств. Однако, по-прежнему при анализе надёжности нечётких систем предполагается, что представлена надёжность всех компонентов системы одним и тем же видом функции принадлежности [5]. Тем не менее, в практических задачах такая ситуация встречается редко. Следовательно, необходима методика, которая по-

зволяла бы находить надёжность нечетких систем с компонентами, которые имеют различные типы функций принадлежности.

Цель работы

Разработка унифицированного описания показателей надёжности нечётких систем с размытыми границами и различными видами функций принадлежности в виде кортежа

$$\langle [a_1, b_{11}, b_{12}, c_1]; [a_2, b_{21}, b_{22}, c_2]; \mu_1, \mu_2 \rangle.$$

Для предложенной структуры кортежа рассматривается новый алгоритм выполнения различных арифметических операций между различными видами расплывчатых множеств и предлагаются табличные методы анализа надёжности различных нечетких систем. В исследовании обобщены известные работы в этой области [3-6, 9].

Для иллюстрации вышеизложенного подхода приведена оценка надёжности последовательной, параллельной, параллельно-последовательной и последовательно-параллельной нечетких систем, состоящих из четырех компонентов.

2. Краткий обзор размытых множеств

2.1. Употребление размытых множеств вместо нечетких

В процессе проектирования и технического перевооружения сортировочных станций, при использовании новых устройств, мы не можем в численном виде выразить их технические характеристики и влияние различных факторов на процесс функционирования сортировочной системы.

Эти факторы обычно имеют некоторую неопределенность, а языковые неточности в их определении связаны с нижеизложенными обстоятельствами.

Большинство систем управления на сортировочных станциях и горках являются слишком дорогими и сложными, и экспериментально измерить их характеристики в реальных условиях эксплуатации достаточно сложно. Это сопряжено с производственными потерями, поэтому пользуются экспертными оценками для выявления сбоев в системах. Однако, оценки экспертов обычно являются неопределенными,

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

и ситуации описываются различно синтаксическими конструкциями.

Нормальное или ненормальное состояние системы нельзя точно определить, потому что в ней реализуются функции при некоторых ограничениях и не гарантируется 100 %-ная полная надежность системы и её устройств.

Станционные системы автоматизации включают устройства, построенные на различной элементной базе - механические, релейные, электронные. Мы не можем исключить любую возможность сбоев системы, включая системы электроснабжения, природные условия и, конечно, человеческий фактор.

Поэтому предлагается использовать для анализа надежности нечетких систем автоматизации сортировочных станций размытые множества, которые помогут решить различные проблемы. В данном случае эксперты должны только указать диапазоны уровней доверия, соответствующие состояниям отказа в устройствах системы.

2.2. Определение размытых множеств

Пусть U будет некоторый универсум. Размытое множество \tilde{A} по множеству U характеризуется функцией принадлежности истине (ФПИ) $t_{\tilde{A}} : U \rightarrow [0,1]$ и функцией принадлежности лжи (ФПЛ) $f_{\tilde{A}} : U \rightarrow [0,1]$. Если элемент множества U обозначим ' u_i ', то тогда нижняя граница функции принадлежности, утверждающая истинность u_i , будет соответствовать $t_{\tilde{A}}(u_i)$, а нижняя граница отрицания u_i , соответствует $f_{\tilde{A}}(u_i)$. $t_{\tilde{A}}(u_i)$ и $f_{\tilde{A}}(u_i)$ связаны с реальными числами в интервале $[0,1]$ со значением u_i из U , где $t_{\tilde{A}}(u_i) + f_{\tilde{A}}(u_i) \leq 1$. Размытое множество \tilde{A} на универсе U показано на рис. 1.

Если универс U является дискретным множеством, то размытое множество \tilde{A} на универсе U может быть представлено как

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n [t_{\tilde{A}}(u_i), 1 - f_{\tilde{A}}(u_i)] / u_i, \quad u_i \in U.$$

Если универс U является непрерывным множеством, то размытое множество \tilde{A} на универсе U может быть представлено как

$$\tilde{A} = \int_U [t_{\tilde{A}}(u_i), 1 - f_{\tilde{A}}(u_i)] / u_i, \quad u_i \in U.$$

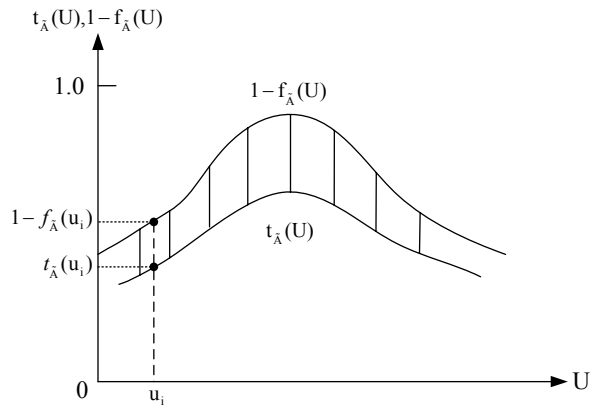


Рис. 1. Размытое множество

3. Алгоритм выполнения точных арифметических операций между разными типами размытых множеств

Сейчас в литературе не описаны алгоритмы выполнения арифметических операций между различными типами размытых множеств. В этой части мы рассмотрим алгоритм выполнения точных арифметических операций между различными типами размытых множеств $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n$ [6].

Для унификации описания разных треугольных и трапециевидных функций введём следующий кортеж:

$$\langle [a_1, b_{11}, b_{12}, c_1]; [a_2, b_{21}, b_{22}, c_2]; \mu_1, \mu_2 \rangle; \quad (1)$$

где $a_1, b_{11}, b_{12}, c_1, a_2, b_{21}, b_{22}, c_2 \in U$ и $\mu_1, \mu_2 \in [0,1]$.

Он соответствует наиболее сложному виду трапециевидных функций с несовпадающими показателями надёжности в конечных и экстремальных точках. В случае треугольных функций $b_{11} = b_{12}$ и $b_{21} = b_{22}$ возможные варианты описания функций этим кортежем представлены в примерах и сведены в таблицу 1.

Шаг 1

Найти значения:

$$\alpha_i = \sup_{i=0,1,\dots,n} (t_{\tilde{A}_i}(U)) = \max_{u_i \in U} \{t_{\tilde{A}_i}(u_i)\}$$

$$\beta_i = \sup_{i=0,1,\dots,n} (1 - f_{\tilde{A}_i}(U)) = \max_{u_i \in U} \{1 - f_{\tilde{A}_i}(u_i)\}$$

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Шаг 2

Найти $\forall i=0,1,2,\dots,n$ значения

$$\alpha = \min(\alpha_i) \quad \text{и} \quad \beta = \min(\beta_i)$$

Шаг 3

Найти интервалы определённых значений $t_{\tilde{A}_i}(U)$, лежащих в диапазоне $[0, \alpha]$. Пусть интервал для $t_{\tilde{A}_i}(U) = p$, тогда $0 \leq p \leq \alpha$ есть $[u_{i1}, u_{i2}]$, где $u_{i1}, u_{i2} \in U$.

Шаг 4

Найти интервалы определённых значений $1 - f_{\tilde{A}_i}(U)$, лежащих в диапазоне $[0, \beta]$. Пусть интервал для $1 - f_{\tilde{A}_i}(U) = q$, $0 \leq q \leq \beta$ есть $[u'_{i1}, u'_{i2}]$, где $u'_{i1}, u'_{i2} \in U$.

Шаг 5

Определим сложение, умножение и вычитание размытых множеств для $t_{\tilde{A}}(U) = p$ как

$$\left[\sum_{i=1}^n u_{i1}, \sum_{i=1}^n u_{i2} \right], \quad \left[\prod_{i=1}^n u_{i1}, \prod_{i=1}^n u_{i2} \right] \quad \text{и} \quad \left[u_{i1} - \left(\sum_{i=2}^n u_{i2} \right), u_{i2} - \left(\sum_{i=2}^n u_{i1} \right) \right] \text{ соответственно, где}$$

\tilde{A} представляет получаемое размытое множество.

Шаг 6

Определим сложение, умножение и вычитание размытых множеств для $1 - f_{\tilde{A}}(U) = q$ как

$$\left[\sum_{i=1}^n u'_{i1}, \sum_{i=1}^n u'_{i2} \right], \quad \left[\prod_{i=1}^n u'_{i1}, \prod_{i=1}^n u'_{i2} \right] \quad \text{и} \quad \left[u'_{i1} - \left(\sum_{i=2}^n u'_{i2} \right), u'_{i2} - \left(\sum_{i=2}^n u'_{i1} \right) \right] \text{ соответственно.}$$

Шаг 7

Нарисовать функции принадлежности результирующих размытых множеств после нахождения интервалов для определённых значений p (включая 0 и α) и q (включая 0 и β).

Введенная избыточность позволяет формализовать процесс вычисления результирующих показателей надёжности и построение соответствующих функций принадлежности по заданным значениям $t_{\tilde{A}}(u_i)$ и $1 - f_{\tilde{A}}(u_i)$, то есть μ_1 и μ_2 .

Для левой (возрастающей) части функции

$$u_i = a_1 + \frac{t_{\tilde{A}}(u_i)(b_{11} - a_1)}{\alpha_i} \quad (2)$$

$$u_i = a_1 + \frac{(1 - f_{\tilde{A}}(u_i))(b_{11} - a_1)}{\beta_i} \quad (3)$$

Для правой (убывающей) части функции

$$u_i = c_2 - \frac{t_{\tilde{A}}(u_i)(c_2 - b_{22})}{\alpha_i} \quad (4)$$

$$u_i = c_2 - \frac{(1 - f_{\tilde{A}}(u_i))(c_2 - b_{22})}{\beta_i} \quad (5)$$

4. Вычисления нечёткой надёжности последовательных, параллельных, параллельно-последовательных и последовательно-параллельных систем

Рассмотрим применение разработанного описания размытых нечётких множеств и предложенного алгоритма для анализа надёжности последовательных, параллельных, параллельно-последовательных и последовательно-параллельных нечётких систем, где параметры надёжности компонентов системы представлены различными типами размытых множеств, определяемых на универсе $[0, 1]$.

4.1. Последовательная система

Рассмотрим последовательную систему, состоящую из n компонентов и представлена на рис. 2.

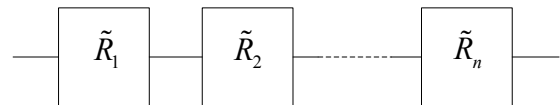


Рис. 2. Последовательная система

Нечёткая надёжность $\tilde{R}_S = \bigotimes_{i=1}^n \tilde{R}_i$ последовательной системы, показанной на рис. 2, может быть рассчитана по алгоритму, описанному в разделе 3 для умножения, где \tilde{R}_i представляет надёжность i -ой компоненты.

4.2. Параллельная система

Рассмотрим параллельную систему, состоящую из 'n' компонентов, показанных на рис. 3.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

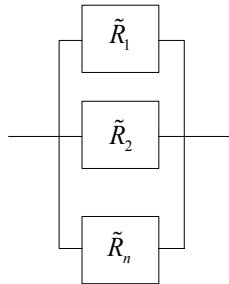


Рис. 3. Параллельная система

Нечёткая надёжность $\tilde{R}_p = 1 \ominus \bigotimes_{i=1}^n (1 \ominus \tilde{R}_i)$ параллельной системы, приведенной на рис. 3, может быть рассчитана по алгоритму, приведенному в секции 3, с использованием операций умножения и вычитания, где \tilde{R}_i представляет надёжность i -ой компоненты.

4.3. Параллельно-последовательная система

Рассмотрим параллельно-последовательную систему, состоящую из m ветвей, объединенных параллельно. В каждой ветви по n компонентов, как показано на рис. 4.

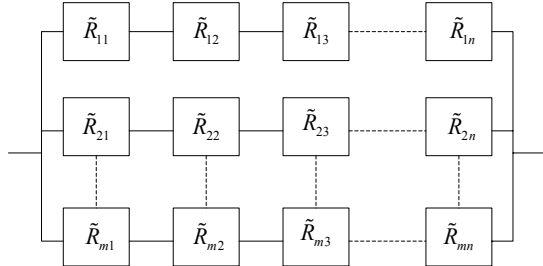


Рис. 4. Параллельно-последовательная система

Нечёткая надёжность

$$\tilde{R}_{PS} = 1 \ominus \bigotimes_{k=1}^m (1 \ominus (\bigotimes_{i=1}^n \tilde{R}_{ki}))$$

параллельно-последовательной системы может быть рассчитана по алгоритму, приведенному в секции 3, с помощью операций умножения и вычитания, где \tilde{R}_{ki} представляет надёжность i -ой компоненты ($i=1,2,\dots,n$) в k -ой ветви ($k=1,2,\dots,m$).

4.4. Последовательно-параллельная система

Рассмотрим последовательно-параллельную систему, состоящую из n последовательных

подсистем, каждая из которых состоит из m параллельных компонентов (см. рис. 5).

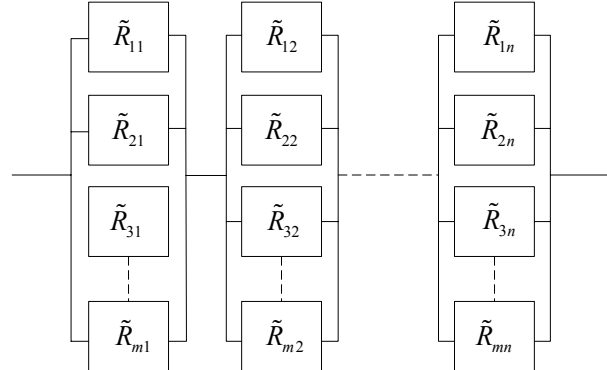


Рис. 5. Последовательно-параллельная система

Нечёткая надёжность

$$\tilde{R}_{SP} = \bigotimes_{k=1}^n (1 \ominus \bigotimes_{i=1}^m (1 \ominus \tilde{R}_{ik}))$$

последовательно-параллельной системы может быть рассчитана по алгоритму, описанному в секции 3, с помощью операций умножения и вычитания, где \tilde{R}_{ik} представляет надёжность i -ой компоненты ($i=1,2,\dots,m$) в k -ой подсистеме ($k=1,2,\dots,n$).

5. Примеры решения задач

Для иллюстрации рассмотренного алгоритма рассчитаем нечёткую надёжность последовательной системы \tilde{R}_S (рис. 6), параллельной системы \tilde{R}_p (рис. 7), параллельно-последовательной системы \tilde{R}_{PS} (рис. 8) и последовательно-параллельной системы \tilde{R}_{SP} (рис. 9), каждая из которых состоит из 4-х компонентов.



Рис. 6. Пример последовательной системы

Пусть надёжность компонентов представлена разными типами размытых множеств $\tilde{R}_1, \tilde{R}_2, \tilde{R}_3$ и \tilde{R}_4 , определёнными на универсе R , где R представляются размытыми параметрами надёжности на интервале $[0,1]$. Принятые значения $\tilde{R}_1, \tilde{R}_2, \tilde{R}_3, \tilde{R}_4$ для вычисления сведены в таблицу 1 (с унифицированной записью кортежей), а функции принадлежности, описывающие $\tilde{R}_1, \tilde{R}_2, \tilde{R}_3, \tilde{R}_4$, показаны на рис. 10–13.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

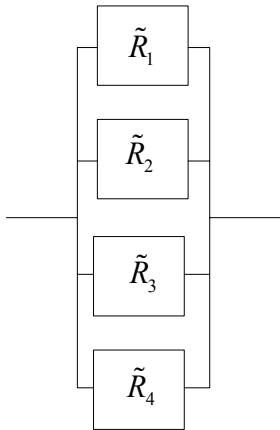


Рис. 7. Пример параллельной системы

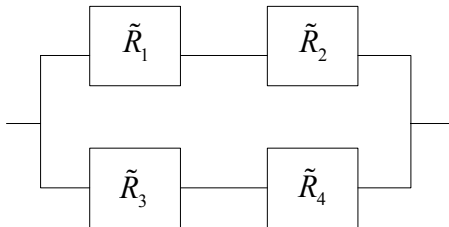


Рис. 8. Пример параллельно-последовательной системы

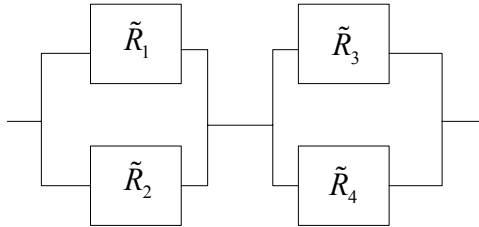
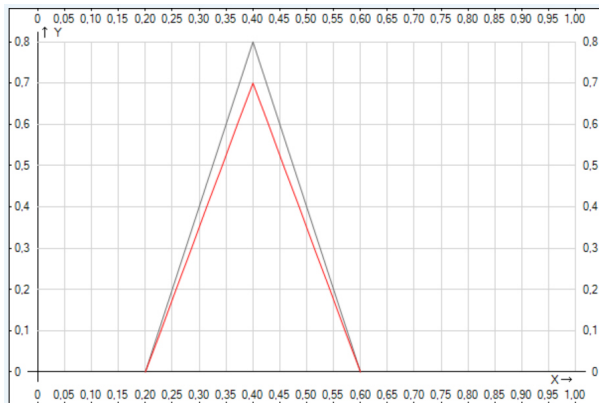
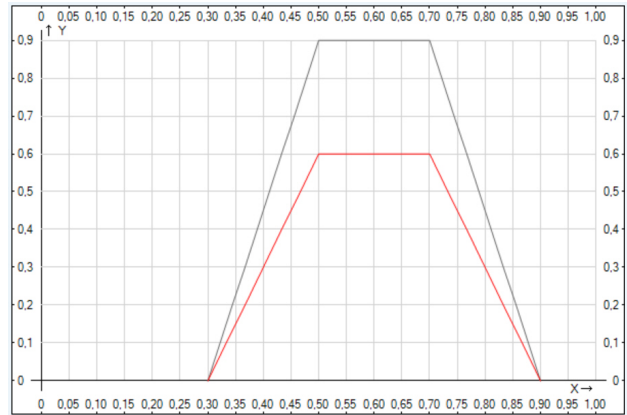
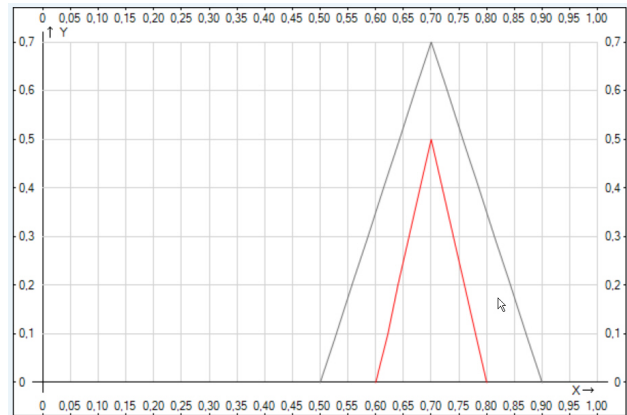
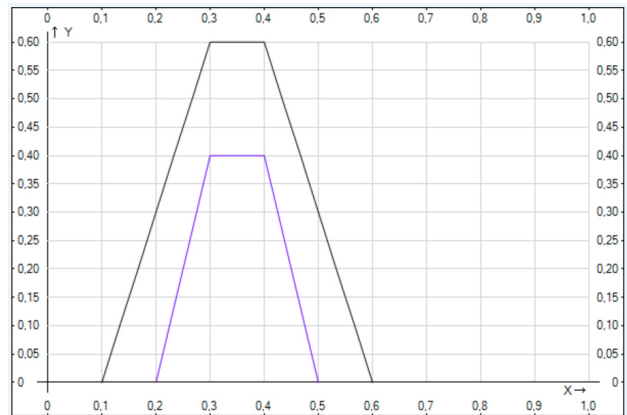


Рис. 9. Пример последовательно-параллельной системы

Рис. 10. Функция принадлежности \tilde{R}_1 Рис. 11. Функция принадлежности \tilde{R}_2 Рис. 12. Функция принадлежности \tilde{R}_3 Рис. 13. Функция принадлежности \tilde{R}_4 .**Решение примеров****Шаг 1**

Находим значения $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ и β_4 из заданных значений $\tilde{R}_1, \tilde{R}_2, \tilde{R}_3$ и \tilde{R}_4 :

$$\alpha_1 = 0.7, \alpha_2 = 0.6, \alpha_3 = 0.5, \alpha_4 = 0.4$$

$$\beta_1 = 0.8, \beta_2 = 0.9, \beta_3 = 0.7, \beta_4 = 0.6$$

Таблица 1

Нечёткая надёжность компонентов	
Нечёткая надёжность \tilde{R}_i i -й компоненты	Тип размытого множества
$\tilde{R}_1 = \langle [(0.2, 0.4, 0.4, 0.6); (0.2, 0.4, 0.4, 0.6); 0.7; 0.8] \rangle$	Треугольное
$\tilde{R}_2 = \langle [(0.3, 0.5, 0.7, 0.9); (0.3, 0.5, 0.7, 0.9); 0.6; 0.9] \rangle$	Трапециевидное
$\tilde{R}_3 = \langle [(0.6, 0.7, 0.7, 0.8); (0.5, 0.7, 0.7, 0.9); 0.5; 0.7] \rangle$	Треугольное
$\tilde{R}_4 = \langle [(0.2, 0.3, 0.4, 0.5); (0.1, 0.3, 0.4, 0.6); 0.4; 0.6] \rangle$	Трапециевидное
Расчётная формула	Тип структуры
$\tilde{R}_S = \tilde{R}_1 \otimes \tilde{R}_2 \otimes \tilde{R}_3 \otimes \tilde{R}_4$	Последовательная
$\tilde{R}_P = 1 \ominus (1 \ominus \tilde{R}_1) \otimes (1 \ominus \tilde{R}_2) \otimes (1 \ominus \tilde{R}_3) \otimes (1 \ominus \tilde{R}_4)$	Параллельная (с резервированием)
$\tilde{R}_{PS} = 1 \ominus (1 \ominus (\tilde{R}_1 \otimes \tilde{R}_2)) \otimes (1 \ominus (\tilde{R}_3 \otimes \tilde{R}_4))$	Параллельно-последовательная
$\tilde{R}_{SP} = 1 \ominus (1 \ominus \tilde{R}_1) \otimes (1 \ominus \tilde{R}_2) \otimes (1 \ominus (1 \ominus \tilde{R}_3) \otimes (1 \ominus \tilde{R}_4))$	Последовательно-параллельная

Шаг 2

Находим $\alpha = \min(0.7, 0.6, 0.5, 0.4) = 0.4$ и $\beta = \min(0.8, 0.9, 0.7, 0.6) = 0.6$

Шаг 3

Вычисляем интервалы надёжности для всех компонентов, как точные значения $t_{\tilde{R}_i}(R)$, лежащие в диапазоне $[0 \dots 0.4]$ (см. таблицу 2).

Шаг 4

Вычисляем интервалы надёжности для всех компонентов, как точные значения $1 - f_{\tilde{R}_i}(R)$, лежащие в диапазоне $[0 \dots 0.6]$ (см. табл. 3). Полученные функции после выполнения шагов 3 и 4 показаны на рис. 14.

Шаг 5

Интервалы надёжности для последовательной, параллельной, параллельно-последовательной и последовательно-параллельной систем (см. рис. 6–9) можно вычислить с использованием таблиц 1, 2, 3 и алгоритма в секции 3 для точ-

ных значений $t_{\tilde{R}_i}(R)$, лежащих в диапазоне $[0 \dots 0.4]$. Полученные результаты приведены в табл. 4.

Шаг 6

Интервалы надёжности для последовательной, параллельной, параллельно-последовательной и последовательно-параллельной систем (см. рис. 6–9) можно вычислить с использованием таблиц 1, 2, 3 и алгоритма в секции 3 для точных значений $1 - f_{\tilde{R}_i}(R)$, лежащих в диапазоне $[0 \dots 0.6]$. Полученные результаты приведены в табл. 5.

Шаг 7

Функции принадлежности, представляющие нечёткую надёжность последовательной, параллельной, параллельно-последовательной и последовательно-параллельной систем (см. рис. 6-9) показаны на рис. 15.

Таблица 2

Интервалы надёжности для точных значений $t_{\tilde{R}_i}(R)$

Значение $t_{\tilde{R}_i}(R)$	Интервалы надёжности \tilde{R}_1	Интервалы надёжности \tilde{R}_2	Интервалы надёжности \tilde{R}_3	Интервалы надёжности \tilde{R}_4
0	[0.200, 0.600]	[0.300, 0.900]	[0.600, 0.800]	[0.200, 0.500]
0.1	[0.229, 0.571]	[0.333, 0.867]	[0.620, 0.780]	[0.225, 0.475]
0.2	[0.257, 0.543]	[0.367, 0.833]	[0.640, 0.760]	[0.250, 0.450]
0.3	[0.286, 0.514]	[0.400, 0.800]	[0.660, 0.740]	[0.275, 0.425]
0.4	[0.314, 0.486]	[0.433, 0.767]	[0.680, 0.720]	[0.300, 0.400]

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

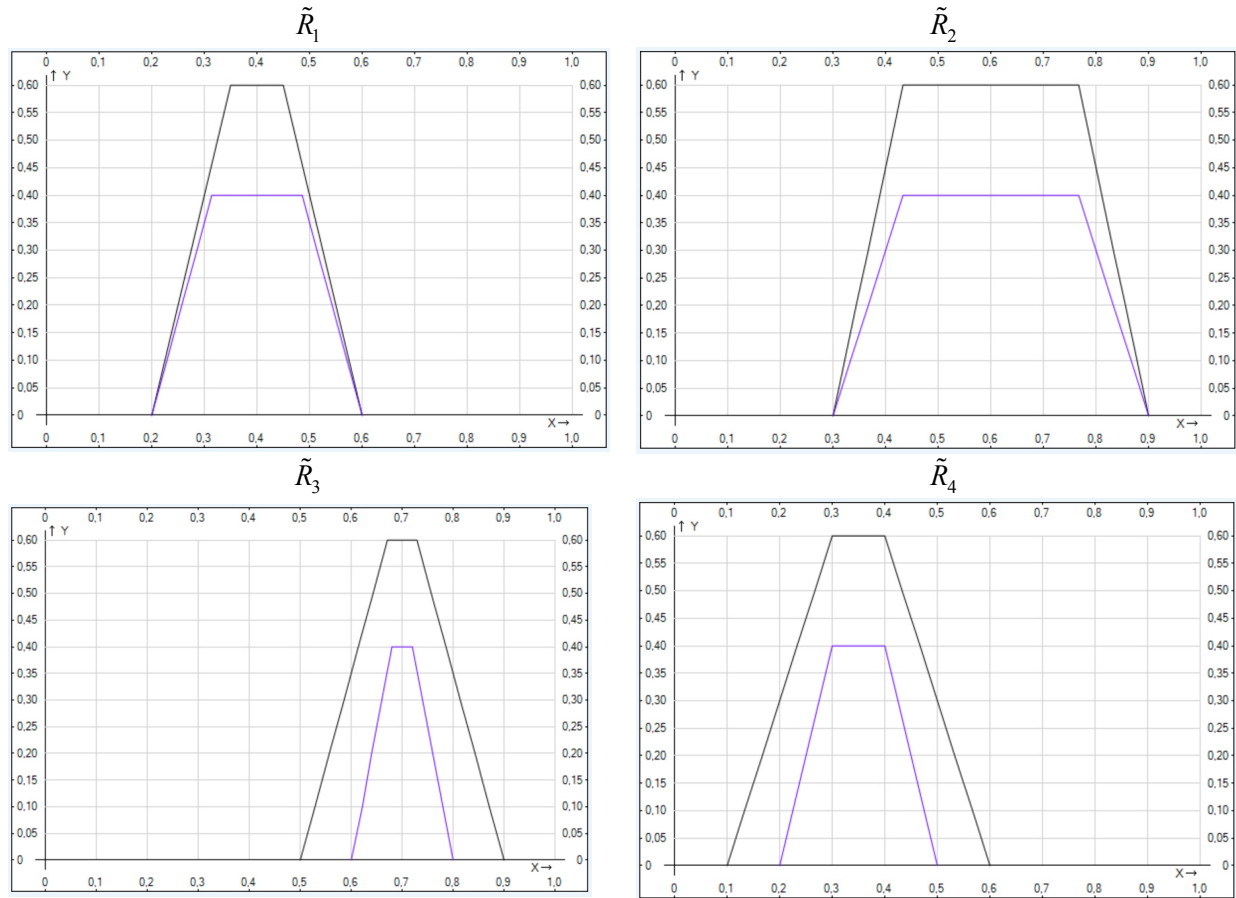
Рис. 14. Графики функций с α - и β - отсечением

Таблица 3

Интервалы надёжности для точных значений $1 - f_{\tilde{R}_i}(R)$

Значения $1 - f_{\tilde{R}_i}(R)$	Интервалы надёжности \tilde{R}_1	Интервалы надёжности \tilde{R}_2	Интервалы надёжности \tilde{R}_3	Интервалы надёжности \tilde{R}_4
0	[0.200,0.600]	[0.300,0.900]	[0.500,0.900]	[0.100,0.600]
0.1	[0.225,0.575]	[0.322,0.878]	[0.529,0.871]	[0.133,0.567]
0.2	[0.250,0.550]	[0.344,0.856]	[0.557,0.843]	[0.167,0.533]
0.3	[0.275,0.525]	[0.367,0.833]	[0.586,0.814]	[0.200,0.500]
0.4	[0.300,0.500]	[0.389,0.811]	[0.614,0.786]	[0.233,0.467]
0.5	[0.325,0.475]	[0.411,0.789]	[0.643,0.757]	[0.267,0.433]
0.6	[0.350,0.450]	[0.433,0.767]	[0.671,0.729]	[0.300,0.400]

Таблица 4

Интервалы надёжности для точных значений $t_{\tilde{R}_i}(R)$

Значения $t_{\tilde{R}_i}(R)$	Интервалы надёжности \tilde{R}_S	Интервалы надёжности \tilde{R}_P	Интервалы надёжности \tilde{R}_{PS}	Интервалы надёжности \tilde{R}_{SP}
0	[0.007,0.216]	[0.821,0.996]	[0.173,0.724]	[0.299,0.864]
0.1	[0.011,0.183]	[0.849,0.993]	[0.205,0.682]	[0.343,0.834]
0.2	[0.015,0.155]	[0.873,0.990]	[0.239,0.640]	[0.387,0.802]
0.3	[0.021,0.129]	[0.894,0.985]	[0.275,0.596]	[0.431,0.768]
0.4	[0.028,0.107]	[0.913,0.980]	[0.312,0.553]	[0.474,0.732]

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

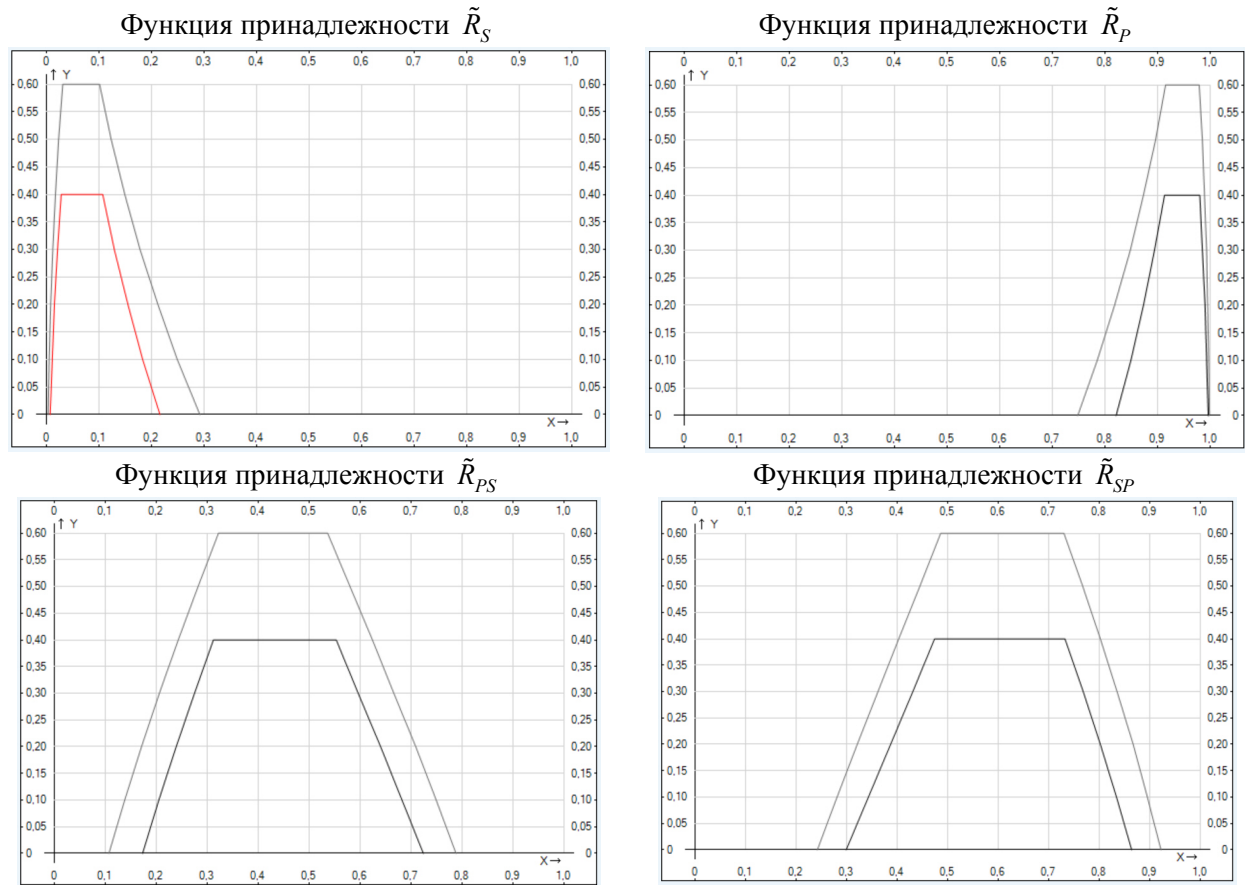


Рис. 15. Надёжность нечётких систем с размытыми надёжностными параметрами компонентов

Таблица 5

Интервалы надёжности для точных значений $1 - f_{\tilde{R}_i}(R)$

Значения $1 - f_{\tilde{R}_i}(R)$	Интервалы надёжности \tilde{R}_S	Интервалы надёжности \tilde{R}_P	Интервалы надёжности \tilde{R}_{PS}	Интервалы надёжности \tilde{R}_{SP}
0	[0.003,0.292]	[0.748,0.998]	[0.107,0.788]	[0.242,0.922]
0.1	[0.005,0.249]	[0.785,0.997]	[0.138,0.749]	[0.281,0.895]
0.2	[0.008,0.212]	[0.818,0.995]	[0.171,0.709]	[0.321,0.867]
0.3	[0.012,0.178]	[0.848,0.993]	[0.206,0.666]	[0.362,0.835]
0.4	[0.017,0.149]	[0.873,0.989]	[0.243,0.624]	[0.403,0.802]
0.5	[0.023,0.123]	[0.896,0.985]	[0.282,0.580]	[0.445,0.767]
0.6	[0.031,0.101]	[0.915,0.979]	[0.322,0.536]	[0.486,0.730]

Автором разработаны электронные таблицы с унифицированным описанием компонентов структур (1) и расчётными формулами для обработки исходных данных (2), (3), (4), (5) и оценки показателей надёжности нечёткой системы (таблица 1) с размытыми границами.

6. Выводы

До сих пор в литературе не рассматривались

алгоритмы для выполнения арифметических операций между различными типами размытых множеств.

В этой статье предложен алгоритм для выполнения различных арифметических операций между разными типами размытых множеств, описанных унифицированным кортежем $\langle [a_1, b_{11}, b_{12}, c_1]; [a_2, b_{21}, b_{22}, c_2]; \mu_1, \mu_2 \rangle$. Новый подход был разработан для анализа нечеткой надежности последовательных, параллельных,

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

параллельно-последовательных и последовательно-параллельных систем автоматизации сортировочных станций и горок на сети железных дорог, которые содержат механизмы, релейные и электронные устройства, в которых работает оперативный персонал. В этих системах надежности компонентов могут быть описаны различными типами размытых множеств, поэтому предлагаемый подход и формализация построения функций принадлежности повышает гибкость и эффективность решения задач оценки надёжности больших систем. Предложенный алгоритм можно использовать для анализа надежности нечётких систем любой конфигурации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косолапов, А. А. Методика анализа надёжности нечётких систем с использованием теории размытых множеств / А. А. Косолапов // Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013 : мат. междунар. науч.-практ. конф. – Одесса : КУПРИЕНКО, 2013. – С. 71–81.
2. Cai, K. Y. Possibistic reliability behavior of typical systems with two types of failures / K. Y. Cai, C. Y. Wen, M. L. Zhang // Fuzzy Sets and Systems. – 1991. – № 43, 1. – P. 17–32.
3. Chen, S. M. Analyzing fuzzy system reliability using interval valued vague set theory // International Journal of Applied Science and Engineering. – 2003. – № 1, 1. – P. 82–88.
4. Cheng, C. H. Fuzzy system reliability analysis by interval of confidence / C. H. Cheng, D. L. Mon // Fuzzy Sets and Systems. – 1993. – № 56, 1. – P. 29–35.
5. Gau, W. L. Interval valued vague sets / W. L. Gau, D. J. Buehrer // IEEE. Transactions on Systems Man and Cybernetics. – 1993. – № 23, 2. – P. 610–614.
6. Kumar, A. Fuzzy System Reliability Using Different Types of Vague Sets / A. Kumar, S. P. Yadav, S. Kumar // Int. Journal of Applied Science and Engineering. – 2008. – № 6, 1. – P. 71–83.
7. Mon, D. L. Fuzzy system reliability analysis for components with different membership functions / D. L. Mon, C. H. Cheng // Fuzzy Sets and Systems. – 1994. – № 64, 2. – P. 145–157.
8. Singer, D. A. Fuzzy set approach to fault tree and reliability analysis / D. A. Singer // Fuzzy Sets and Systems. – 1990. – № 34, 2. – P. 145–55.
9. The reliability of general vague fault-tree analysis of weapon systems fault diagnosis / Chang J. R., Chang K. H., Liao S. H., Cheng C. H. // Soft Computing. – 2006. – № 10. – P. 531–542.
10. Zadeh, L. A. Fuzzy sets / L. A. Zaden // Inform. Control. – 1965. – № 8, 3. – P. 338–353.

А. А. КОСОЛАПОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Електронні обчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел./факс +38 (050) 575 05 32, ел. пошта akanarsky@mail.ru

МЕТОДИКА ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ НЕЧІТКИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ВИДІВ РОЗМИТИХ МНОЖИН

Мета. Розробка методики розрахунку надійності нечітких систем із компонентами, параметри надійності яких описуються функціями приналежності різного виду. **Методика.** Системний аналіз відомих підходів до оцінки показників надійності нечітких систем із розмитими межами і різними видами функцій приналежності. **Результати.** Запропоновано уніфікований опис і новий табличний алгоритм виконання різних арифметичних операцій між різними видами розмитих множин, розроблені табличні методи аналізу надійності основних структур нечітких систем. **Наукова новизна.** Запропоновано узагальнений опис трикутних і трапецієподібних функцій приналежності з розмитими межами у вигляді спеціальних кортежів $\langle [a_1, b_{11}, b_{12}, c_1]; [a_2, b_{21}, b_{22}, c_2]; \mu_1, \mu_2 \rangle$, отримано аналітичні вирази для табличного формування графіків відповідних функцій і розрахунку показників надійності нечітких систем складної структури: послідовних, з резервуванням – паралельних, послідовно-паралельних, паралельно-послідовних. **Практична значимість.** Отримані моделі та табличні алгоритми спростують розрахунки показників надійності складних електронно-механічних людино-машинних систем автоматизації із нечіткими параметрами і розмитими межами.

Ключові слова: нечітка надійність; нечіткі множини; розмиті множини; функція приналежності істині (ФПІ); функція приналежності хибності (ФПХ); табличні моделі

A. A. KOSOLAPOV^{1*}

^{1*}Dep. “Computer Engineering”, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician
V. Lazaryan, Lazaryan Str. 2, 49010, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel./ fax +38 (050) 575 05 32,
e-mail akanarsky@mail.ru

RELIABILITY OF FUZZY SYSTEMS EVALUATION METHODOLOGY USING DIFFERENT TYPES OF VAGUE SETS

Purpose. Development of the reliability calculating methodology of fuzzy systems with components, reliability parameters of which are described by the membership functions of various kinds. **Methodology.** Systematic analysis of the known approaches to the assessment of the reliability of fuzzy systems with vague boundaries and different kinds of membership functions. **Findings.** A unified description and the new tabular algorithm of various arithmetic operations run between the various types of fuzzy sets are proposed and tabular methods of reliability analysis of the basic structures of fuzzy systems are developed. **Originality.** A generalized description of triangular and trapezoid-shaped accessory functions of fuzzy boundaries in a special tuples is introduced $\langle [a_1, b_{11}, b_{12}, c_1]; [a_2, b_{21}, b_{22}, c_2]; \mu_1, \mu_2 \rangle$, analytical expressions for the formation of tabular schedules of their functions and the calculation of the reliability of fuzzy systems with complex structures are obtained: sequential, redundant - parallel, serial-parallel, parallel-serial. **The practical value.** The obtained models and tabular algorithms simplify the calculations of the reliability of complex electro-mechanical human-machine automation systems with fuzzy parameters and vague boundaries.

Keywords: fuzzy reliability; fuzzy sets; vague sets; membership function of true (MFT); membership function of lies (MFL); table models

PREFERENCES

1. Kosolapov A.A. Metodika analiza nadezhnosti nechetkikh sistem s ispolzovaniyem teorii razmytykh mnozhestv [The method of fuzzy systems reliability analysis using fuzzy set theory]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Sovremennyye napravleniya teoreticheskikh i prikladnykh issledovaniy ‘2013’”* [Proc. of Int. Theoretical and Practical Conf. “Modern directions of theoretical and applied research ‘2013’”]. Odessa, 2013, pp. 71-81.
2. Cai K.Y., Wen C.Y., Zhang M.L. Possibistic reliability behavior of typical systems with two types of failures. *Fuzzy Sets and Systems*, 1991, no. 43, 1, pp. 17-32.
3. Chen S.M. Analyzing fuzzy system reliability using interval valued vague set theory. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 2003, no. 1, 1, pp. 82-88.
4. Cheng C.H., Mon D.L. Fuzzy system reliability analysis by interval of confidence. *Fuzzy Sets and Systems*, 1993, no. 56, 1, pp. 29-35.
5. Gau W.L., Buehrer D.J. Interval valued vague sets. *IEEE. Transactions on Systems Man and Cybernetics*, 1993, no. 23, 2, pp. 610- 614.
6. Kumar A., Yadav S.P., Kumar S. Fuzzy System Reliability Using Different Types of Vague Sets. *Int. Journal of Applied Science and Engineering*, 2008, no. 6, 1, pp. 71-83.
7. Mon D.L., Cheng C.H. Fuzzy system reliability analysis for components with different membership functions. *Fuzzy Sets and Systems*, 1994, no. 64, 2, pp. 145-157.
8. Singer D.A. Fuzzy set approach to fault tree and reliability analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 1990, no. 34, 2, pp. 145-155.
9. Chang J.R., Chang K.H., Liao S.H., Cheng C.H. The reliability of general vague fault-tree analysis of weapon systems fault diagnosis. *Soft Computing*, 2006, no. 10, pp. 531-542.
10. Zadeh L.A. Fuzzy sets. *Inform. Control*, 1965, no. 8, 3, pp. 338-353.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. И. В. Жуковицким (Украина);
д.т.н., проф. А. И. Михалёвым (Украина)

Поступила в редакцию 20.03.2013

Принята к печати 05.04.2013

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 614.86:656.225.073.436

Є. Я. КОСЕНКО^{1*}, С. В. КУХЛІВСЬКИЙ¹, Б. М. БОНДАРЕНКО¹, І. І. ПОДЗІГУН¹

^{1*} Каф. «Військова підготовка Держспецтрансслужби», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел./факс +38 (056) 793 19 09, ел. пошта KVP@dsst.gov.ua

УДОСКОНАЛЕННЯ РЕАГУВАННЯ НА АВАРІЙНІ СИТУАЦІЇ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ НА ЗАЛІЗНИЦІ

Мета. Удосконалення дій аварійно-рятувальних служб при ліквідації наслідків надзвичайного характеру на залізниці. Надзвичайні ситуації (НС) техногенного характеру на залізниці визначаються особливостями уражаючих факторів та поділяються на: аварії (катастрофи), які супроводжуються викидами (виливами) небезпечних речовин, пожежами, вибухами; аваріями на інженерних мережах і системах життєзабезпечення; руйнування будівель і споруд, аварії транспортних засобів та ін. Зараз існує проблема планування взаємодії сил і засобів міністерств і відомств, які залучаються для подолання наслідків надзвичайних ситуацій, зокрема при перевезенні небезпечних вантажів на залізниці. **Методика.** Під час дослідження використовувався метод пошукової оптимізації удосконалення існуючих систем аналізу і прогнозування надзвичайних ситуацій, а також спостереження та часової реєстрації дій рятувальних служб під час тренувань та в реальних умовах усунення наслідків надзвичайних ситуацій. **Результати.** Вирішуються проблеми: оповіщення населення про загрозу виникнення надзвичайних ситуацій, інформування про наявну обстановку, підтримання аварійно-рятувальних служб в готовності до функціонування у надзвичайних ситуаціях, організація життєзабезпечення населення в умовах аварій, катастроф, стихійного лиха. **Наукова новизна.** Досліджено особливості організації цивільного захисту при перевезенні небезпечних вантажів, розроблено порядок взаємодії аварійно-рятувальних служб під час усунення наслідків надзвичайних ситуацій техногенного походження на залізниці, внаслідок чого створюються умови щодо зменшення збитків і втрат у разі аварій, катастроф, вибухів, великих пожеж та стихійного лиха. **Практична значимість.** Аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи в зонах надзвичайних ситуацій на залізниці, при перевезенні небезпечних вантажів необхідно планувати на випадок їх можливого виникнення, із одночасним залученням до виконання цих робіт сил і засобів міністерств і відомств, міжгалузевих консорціумів, корпорацій, концернів, асоціацій тощо, які опиняються у районі надзвичайної ситуації, та завчасне визначення їх підпорядкованості.

Ключові слова: надзвичайна ситуація; цивільний захист; аварійно-рятувальні заходи; техногенні ситуації; безпека руху

Вступ

Науково-технічний прогрес значно збільшив можливості виробництва, але приніс із собою техногенну небезпеку для людини і навколишнього середовища [7]. При розгляданні аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів на залізниці та з метою оптимізації

зусиль при подоланні їх наслідків важливо використовувати однакові терміни, за якими буде організоване реагування у надзвичайній ситуації:

– катастрофа поїзда – зіткнення пасажирського або вантажного поїзда з другим поїздом або рухомим складом, схід рухомого складу в поїзді на перегонах і станціях, внаслідок чого

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

загинули і (або) були поранені люди, розбиті локомотив або вагони (до ступеню виключення із майна), або повна зупинка руху на даній ділянці, що перебільшує нормативний час для ліквідації наслідків зіткнення чи сходу рухомого складу;

– залізнична аварія – аварія на залізниці, що потягла за собою ушкодження одної або декількох одиниць рухомого складу залізниці до ступеня капітального ремонту і (або) загибель одного або декілька чоловік, спричинила потерпілим тілесні ушкодження різної важкості чи повну зупинку руху на аварійній ділянці, що перебільшує нормативний час для ліквідації наслідків аварій [5].

Виходячи з вище сказаного треба використовувати єдину класифікацію небезпечних вантажів, які перевозять залізничним транспортом:

клас 1 – вибухові речовини;

клас 2 – гази, скраплені та розчинені під тиском;

клас 3 – легкозаймисті речовини;

клас 4 – легкозаймисті тверді речовини, самозаймисті речовини, речовини, що виділяють легкозаймисті гази при взаємодії з водою;

клас 5 – окислюючі речовини та органічні пероксиди;

клас 6 – отруйні речовини, інфекційні речовини;

клас 7 – радіоактивні речовини;

клас 8 – їдкі та корозійні речовини;

клас 9 – решта небезпечних речовин [9].

Наразі відсутнє планування взаємодії сил і засобів міністерств і відомств, які залучаються для подолання наслідків надзвичайних ситуацій, зокрема при перевезенні небезпечних вантажів на залізниці. Для вирішення цієї проблеми необхідно удосконалення реагування на аварійні ситуації підрозділів всіх територіально-задіяних відомств під час подолання наслідків надзвичайних ситуацій на відповідній залізниці.

Метою даної роботи є удосконалення дій аварійно-рятувальних служб при ліквідації наслідків надзвичайного характеру.

Концепція цивільного захисту при перевезенні небезпечних вантажів

Витік небезпечного вантажу, загорання, пошкодження тари або рухомого складу (ємнос-

тей) із небезпечним вантажем можуть призвести до вибуху, пожежі, опіків, отруєння, захворювання людей і тварин [1]. Взаємодії між формуваннями в процесі проведення аварійно-рятувальних робіт визначають відповідальні уповноважені керівники робіт із ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій і особи, які очолюють проведення робіт на відповідних об'єктах.

Концепція захисту населення і територій у разі виникнення надзвичайних ситуацій разом із виконанням інших задач передбачає: проведення рятувальних та інших невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та організацію життєзабезпечення постраждалого населення; здійснення заходів щодо соціального захисту постраждалого населення; реалізація визначених законодавством прав населення в галузі захисту від наслідків надзвичайних ситуацій, у тому числі осіб, які брали участь у їх ліквідації [10].

Організація життєзабезпечення населення під час аварій, катастроф, стихійного лиха, які виникли при перевезенні небезпечних вантажів, передбачає заходи, що здійснюються центральними та місцевими органами державної виконавчої влади, виконкомом місцевих рад народних депутатів, органами управління з надзвичайних ситуацій та у справах цивільного захисту населення, адміністрацією підприємств, установ і організацій завчасно, а також у разі надзвичайної ситуації з метою створення умов для виживання в осередках ураження. Життєзабезпечення населення в надзвичайних ситуаціях здійснюється з метою збереження життя і здоров'я людей, потерпілих внаслідок надзвичайних ситуацій, на маршрутах евакуації та в містах їх відселення і повинно забезпечувати створення умов для виживання в умовах надзвичайних ситуацій населення на основі задоволення його першочергових потреб по встановленим нормам і нормативам у життєвонеобхідних видах матеріальних засобів і послуг. Заходами життєзабезпечення населення, спрямованими на задоволення мінімуму життєвих потреб громадян, які потерпіли (можуть потерпіти) від наслідків надзвичайних ситуацій, надання їм побутових послуг і реалізацію соціальних гарантій на період проведення рятувальних та інших невідкладних робіт, є:

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

- тимчасове розміщення громадян в безпечних районах;
- організація харчування у районах лиха і тимчасового розселення;
- організація забезпечення населення, що потерпіло, одягом, взуттям і товарами першої необхідності;
- організація надання фінансової допомоги потерпілим;
- забезпечення медичного обслуговування та санітарно-епідемічного нагляду в районах тимчасового розселення;
- відновлення функціонування сфери соціального захисту населення, яке потерпіло внаслідок надзвичайних ситуацій.

При створенні і підтриманні умов життєзабезпечення внаслідок надзвичайних ситуацій повинні підтримуватися наступні основні принципи:

- пріоритетність функції держави в підготовці і проведенні всього комплексу заходів життєзабезпечення у надзвичайній ситуації (НС);
- раціональний розподіл функцій з життєзабезпечення в між центральними, регіональними, місцевими та відомчими органами управління у сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій;
- територіально-галузева організація життєзабезпечення в надзвичайних ситуаціях;
- персональна відповідальність посадових осіб за виконання законодавчих, нормативних і правових актів з життєзабезпечення;
- завчасність підготовки держави (регіону, території) щодо життєзабезпечення в НС;
- забезпечення соціальної захищеності і психологічної підтримки громадян в зонах НС;
- забезпечення фізіологічної та енергетичної достатності норм життєзабезпечення в НС;
- першочергове орієнтування системи життєзабезпечення в НС на місцеві ресурси і можливості з наступним використання державних ресурсів;
- відкритість процесу життєзабезпечення за рахунок використання ресурсів від непотерпілих регіонів держави та закордонної допомоги;
- здібність до швидкого відновлення системи життєзабезпечення після дії на неї дестабілізуючих факторів НС [2].

Удосконалення аварійно-рятувальних робіт та попередження техногенних аварій

Аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи в зонах надзвичайних ситуацій необхідно проводити з метою невідкладного надання допомоги населенню, яке опинилося у зоні аварії вантажів із небезпечними речовинами на залізниці та піддавалося безпосередній або відносній дії руйнівних і шкідливих сил, інших техногенних аварій і катастроф, а також для обмеження масштабів, локалізації або ліквідації виниклих при цьому надзвичайних ситуацій.

Забезпечення продуктами харчування потерпілого населення в НС повинно передбачати задоволення потреб у зерні, муці, хлібобулочних і макаронних виробках, м'ясі і м'ясопродуктах (консервах), молоці і дитячому харчуванні, рибі і рибопродуктах (консервах), картоплі і овочах, солі, цукру і чаю, а також фуражу для тваринництва [4].

Важливо передбачити розгортання та спорудження при необхідності в зоні НС тимчасового житла (палаток, землянок, збірних та рухомих будинків тощо), а також використання житлового фонду, що зберігся (будинки відпочинку, санаторії, пансіонати, піонерські табори, житлові будинки тощо). При цьому необхідно враховувати терміни можливої тривалості перебування населення у тимчасових спорудах. Наприклад, використання у якості тимчасового житла залізничних вагончиків показує їх високу ефективність і оперативність у застосуванні. Але цей же досвід порівнює життя у вагончиках з подвигом, зокрема взимку з малими дітьми [8].

Забезпечення предметами першої необхідності потерпілого в НС населення повинно передбачати задоволення його потреб у верхньому одязі, взутті, головних уборах, білизні, простій побутовій посуді, мінімумі товарів галантереї і парфумерії (нитки, голки, мило тощо) та інших товарах (сірники, примуси, газ тощо).

Інформаційне забезпечення в НС повинно передбачувати своєчасне оповіщення населення і органів управління всіх рівнів про можливість і факт виникнення НС, можливих його наслідках, правилах поведінки в зонах НС [11].

Медичне і санітарно-епідемічне забезпечення населення в НС повинно передбачати надання першої допомоги потерпілому в зоні НС

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

населенню, забезпечення його простішими медикаментами і медичним майном, сортування поранених і надання їм кваліфікованої і спеціалізованої медичної допомоги рухомими формуваннями Служби медицини катастроф у зоні НС з наступною (при необхідності) евакуацією потерпілих у лікувальні заклади для стаціонарного лікування, а також виконання санітарно-гігієнічних і проти-епідемічних заходів [2].

Транспортне забезпечення населення в НС повинно передбачати проведення заходів із задоволення потреб у транспортних засобах для вирішення задач евакуації (перевезення) потерпілих із зони НС в райони відселення і підвозу матеріально-технічних ресурсів життєзабезпечення в зони НС. Забезпечення безпеки населення та його функціонування в умовах надзвичайних ситуацій, обумовлених стихійним лихом, техногенними аваріями і катастрофами, а також використання сучасної зброї (воєнні надзвичайні ситуації) є загальнодержавною задачею, обов'язковою для вирішення всіма територіальними, відомчими і функціональними органами управління і регулювання, службами і формуваннями та суб'єктами господарювання.

Об'єми і терміни проведення заходів щодо завчасної підготовки системи захисту населення визначають, виходячи із принципу розумної достатності в забезпеченні безпеки населення в умовах надзвичайних ситуацій мирного часу [11].

Одним із важливих напрямків попередження надзвичайних ситуацій при перевезенні небезпечних вантажів є проведення регламентних робіт та періодичного контролю працездатності техніки, яка забезпечує безпеку руху.

Ефективним методом попередження техногенних аварій, виявлення несправностей відповідальних електромеханічних вузлів радіоелектронної апаратури та забезпечення безпеки руху на залізницях є нові неконтактні методи контролю цієї апаратури, наприклад, акустичні методи діагностування [6].

Акустичні методи діагностування можуть використовуватися для таких електромеханічних пристроїв, як соленоїди, реле, контактори, електродвигуни, навіть інтегральні мікросхеми, зокрема, окрім акустичного шуму, електромагнітні пристрої, що генерують електродинамічний і електромагнітний шуми, які також мо-

жуть бути використані для їх діагностики. Діагностика елементів систем управління за допомогою акустичних сигналів дозволяє підвищити точність розпізнавання несправностей та попередження аварій.

Використання сучасних методів та вимірювально-діагностичних комплексів для перевірки відповідальних вузлів техніки в аварійно-небезпечних галузях наразі набуває першочергове значення [3].

Комплексом аварійно-рятувальних робіт необхідно забезпечити знаходження та виведення людей за межі зон дії небезпечних і шкідливих для їх життя і здоров'я факторів ураження, надання невідкладної медичної допомоги потерпілим і їх евакуацію в лікарняні установи, створення для врятованих необхідних умов фізіологічно нормального існування організму людини. Невідкладні роботи повинні забезпечити блокування, локалізацію або нейтралізацію джерел безпеки, пониження інтенсивності, обмеження розповсюдження і знешкодження дії полів факторів ураження в зоні лиха, аварії або катастрофи до рівнів, які дозволяють ефективно використовувати інші заходи захисту [11].

Висновки

Аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи в зонах надзвичайних ситуацій на залізницях при перевезенні небезпечних вантажів необхідно планувати на випадок їх можливого виникнення та проводити з використанням сил і засобів міністерств і відомств, міжгалузевих консорціумів, корпорацій, концернів, асоціацій тощо. Територіальні, функціональні і відомчі системи, підпорядковані підконтрольним їм територіям і суб'єктам господарювання, повинні мати необхідних спеціалістів (із охорони здоров'я, охорони правопорядку, матеріально-технічного забезпечення, соціального забезпечення та ін.) і технічні засоби, які потрібні для використання в осередках ураження.

Планування невідкладних робіт необхідно проводити в цілях вивезення людей з місць виникнення надзвичайних ситуацій, в тому числі з травмами і пошкодженнями, виконання демонтажних, монтажних, шляхових, навантажувальних і розвантажувальних та земляних робіт, проведення дегазації, дезактивації, дезінфекції та інших спеціальних робіт.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Для запобігання виникненню надзвичайних ситуацій при перевезенні небезпечних вантажів необхідно застосовувати сучасні методи та вимірювально-діагностичні комплекси для перевірки відповідальних вузлів техніки в аварійно-небезпечних галузях, що сьогодні набуває першочергове значення.

Виконання планів подолання наслідків надзвичайних ситуацій на залізниці при перевезенні небезпечних вантажів передбачає формування необхідних для цього сил із відповідним аварійно-рятувальним обладнанням із завчасним визначенням їх підпорядкованості. Із цією метою необхідно проводити систематичні тренування усіх структурних підрозділів, як залізниці, так і МНС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности : учебник для вузов / С. В. Белов. – М. : Высш. шк., 1999. – 448 с.
- Бакка, М. Т. Охрана і безпека життєдіяльності людини : конспект лекцій / М. Т. Бакка, А. С. Мельничук, В. І. Сівко. – Ж. : Льонок, 1995. – 165 с.
- Бондаренко, Б. М. Акустическая диагностика электромагнитной аппаратуры / Б. М. Бондаренко, С. А. Разгонов, В. В. Лагута // Вісник Академії митної служби України. Серія : «Технічні науки». – 2012. – № 1. – С. 137–144.
- Жидецкий, В. Ц. Основы охорони праці : навчальний посібник / В. Ц. Жидецкий, В. С. Джигірей, О. В. Мельников. – Л. : Афіша, 2000. – 347 с.
- Лапін, В. М. Безпека життєдіяльності людини : навч. посіб. / В. М. Лапін. – Л. : ВО Знання, 1999. – 455 с.
- Морозов, Г. Л. Віброшумова діагностика електромагнітного реле / Г. Л. Морозов, А. П. Разгонов, Б. М. Бондаренко // Вісник Дніпропетр. нац ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : ДНУЗТ, 2010. – Вип. 32. – С. 206–211.
- Пам'ятка-Україна: Надзвичайна ситуація. Що робити? Деякі поради населенню щодо дій в екстремальних умовах. – К. : Українська технологічна група. – 2000. – 57 с.
- Смирнов, Л. А. О прожитом: Воспоминания / Л. А. Смирнов. – Д. : Пороги, 2008. – 172 с.
- Стеблюк, М. І. Цивільна оборона : підручник / М. І. Стеблюк. – К. : Знання – Прес, 2006. – 455 с.
- Шоботов, В. М. Цивільна оборона : навчальний посібник / В. М. Шоботов. – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 436 с.
- Derailment of Chicago Transit Authority Train Number 220 between Clark/Lake and Grand/Milwaukee Stations Chicago, Illinois, July 11, 2006 / United States. National Transportation Safety Board. – Washington : National Transportation Safety Board, 2007. – 64 p.

Е. Я. КОСЕНКО^{1*}, С. В. КУХЛИВСКИЙ¹, Б. М. БОНДАРЕНКО¹, И. И. ПОДЗИГУН¹

^{1*} Каф. «Военная подготовка госпесстраслужбы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010 Днепропетровск, Украина, тел./факс +38 (056) 793 19 09, эл. почта KVP@dsst.gov.ua

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕАГИРОВАНИЯ НА АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Цель. Усовершенствование действий аварийно-спасательных служб при ликвидации последствий чрезвычайного характера на железной дороге. Чрезвычайные ситуации техногенного характера на железной дороге определяются особенностями поражающих факторов и разделяются на: аварии (катастрофы), которые сопровождаются выбросами (излияниями) опасных веществ, пожарами, взрывами; аварии на инженерных сетях и системах жизнеобеспечения; разрушение зданий и сооружений; аварии транспортных средств и другие. Сегодня существует проблема планирования взаимодействия сил и средств, министерств и ведомств, которые привлекаются для преодоления последствий чрезвычайных ситуаций, в частности при перевозке опасных грузов по железной дороге. **Методика.** Во время исследования использовался метод поисковой оптимизации усовершенствования существующих систем анализа и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, а также наблюдение и почасовая регистрация действий спасательных служб во время тренировок и в

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

реальных условиях устранения последствий чрезвычайных ситуаций. **Результаты.** Решаются проблемы: оповещения населения про угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций, информирования о существующей обстановке, поддержания аварийно-спасательных служб в готовности к функционированию в чрезвычайных ситуациях, организации жизнеобеспечения населения в условиях аварий, катастроф, стихийного бедствия. **Научная новизна.** Исследованы особенности организации гражданской обороны при перевозке опасных грузов, разработан порядок взаимодействия аварийно-спасательных служб во время устранения последствий чрезвычайных ситуаций техногенного происхождения на железной дороге, в результате которых создаются условия относительного уменьшения убытков и потерь в случае аварий, катастроф, взрывов, больших пожаров и стихийного бедствия. **Практическая значимость.** Аварийно-спасательные и другие безотлагательные работы в зонах чрезвычайных ситуаций на железной дороге, при перевозке опасных грузов необходимо планировать на случай их возможного возникновения с одновременным привлечением к выполнению этих работ сил и средств министерств и ведомств, межотраслевых консорциумов, корпораций, концернов, ассоциаций и тому подобных, которые оказываются в районе чрезвычайной ситуации с заблаговременным определением их подчиненности.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация; гражданская оборона; аварийно-спасательные мероприятия; техногенные ситуации; безопасность движения

Ye. Ya. KOSENKO^{1*}, S. V. KUKHLIVS'KYI¹, B. M. BONDARENKO¹, I. I. PODZIGUN¹

^{1*} Dep. «Military Training of State Special Transport Service», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician. V. Lazaryan, Lazaryan Str. 2, 49010 Dnipropetrovsk, Ukraine, tel./fax +38 (056) 793 19 09, e-mail KVP@dsst.gov.ua

IMPROVEMENT OF ACTIONS ON EMERGENCY SITUATIONS AT TRANSPORTATION OF DANGEROUS FREIGHTS BY RAIL TRANSPORT

Purpose. Improvement of actions of emergency-and-rescue services during elimination of emergency aftermaths on railway. The extraordinary situations of anthropogenic character on railway are determined by the features of striking factors and are divided into accidents (catastrophes), accompanied by exhausts (blow-outs, spills) of hazardous substances, fires, explosions, failures on engineering networks and systems of life-support, by destruction of buildings and structures, by accidents of transport vehicles, etc. At present, there is a problem of co-operation planning of troops and facilities, ministries and departments, which are ordered for eliminating the aftermaths of extraordinary situations, particularly at transporting dangerous freights by rail. **Methodology.** During the research the method of search optimization of existing systems improvement of analysis and forecast of extraordinary situations as well as the supervision and hour-by-hour registration of rescue services actions during trainings and in the real conditions of aftermaths eliminating of extraordinary situations were used. **Findings.** The problems to solve are notifying the population on the threat of extraordinary situations arising, informing in time about a current situation, maintaining emergency-and-rescue services in readiness to functioning in extraordinary situations, organizing the life-support of population in conditions of accidents, catastrophes, or a natural calamity. **Originality.** The features of civil defense organization at dangerous freights transportation are explored; the order of co-operation of emergency-and-rescue services during the elimination of emergency aftermaths of anthropogenic origin on railway is developed. It is resulted in creating the conditions of relative diminishment of losses and expenditures because of transport accidents, catastrophes, explosions, conflagrations and natural calamities. **Practical value.** It is necessary to plan emergency-and-rescue and other exigent works in the areas of extraordinary situations on railway at transportation of dangerous freights in the case of their occurrence with the simultaneous bringing the troops and facilities of ministries and departments, inter-sectoral consortia, corporations, business concerns, associations etc., which appear in the area of extraordinary situation with the preliminary determination of their subordination to implement these measures.

Keywords: civil defense; extraordinary situation; emergency-and-rescue measures; anthropogenic situations; traffic safety

REFERENCES

1. Belov S.V. *Bezopasnost zhyznyedeyalnosti* [Life safety]. Moscow, Vyshcha Shkola Publ., 1999, 448 p.
2. Bakka M.T. *Ohorona i bezpeka zhyttiediialnosti liudyny* [Protection and safety of human life]. Zhytomyr, Lyonok Publ., 1995, 165 p.
3. Bondarenko B.M., Razgonov S.A., Laguta V.V. Akusticheskaya diagnostika elektromagnitnoy apparatury [Acoustic inspection of electromagnetic gear]. *Visnyk Akademii mytnoi sluzhby Ukrainy. Seriya: "Tekhnichni nauky"* [Bulletin of the Academy of Customs Service of Ukraine. Series: "Engineering"], 2012, no. 1 (47), pp. 137-144.
4. Zhydetskyi V.Ts., Dzhyhirei V.S., Melnikov O.V. *Osnovy okhorony pratsi* [Foundations of labor protection]. Lviv, Afisha Publ., 2000. 347 p.
5. Lapin V.M. *Bezpeka zhyttiediialnosti liudyny* [Safety of human life], Lviv, VO Znannia Publ., 1999, 455 p.
6. Morozov H.L., Razghonov A.P., Bondarenko B.M. Vibroshumova diahnostyka elektromagnitnoho rele [Vibronoise diagnosis of electromagnetic relay]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transporu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 32, pp. 206-211.
7. *Pamiatka-Ukraina: Nadzvychaina sytuatsiia. Shcho robyty? Deiaki porady naselenniu shchodo dii v ekstremalnykh umovakh* [Memo-Ukraine. Emergency. What should one do? Some advices to population on the actions in emergency situation]. Kyiv, Ukrainska tehnologichna grupa Publ., 2000, 57 p.
8. Smirnov L.A. *O prozhitom: Vospominaniya* [About the past: Memories]. Dnipropetrovsk, Porohy Publ., 2008. 172 p.
9. Stebliuk M.I. *Tsyvilna oborona* [Civil defense]. Kyiv, Znannia – Pres Publ., 2006. 455 p.
10. Shobotov V.M. *Tsyvilna oborona* [Civil defense]. Kyiv, Tsentr navchalnoi literatury Publ., 2006. 436 p.
11. United States. National Transportation Safety Board. Derailment of Chicago Transit Authority Train Number 220 between Clark/Lake and Grand/Milwaukee Stations Chicago, Illinois, July 11. Washington, National Transportation Safety Board Publ., 2007. 64 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. В. Радкевичем (Україна); к.т.н., доц. Ю. М. Мелікаєвим (Україна)

Надійшла до редколегії 20.02.2013.

Прийнята до друку 28.03.2013.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 338.47:656.225

Ю. С. БАРАШ¹, Л. В. МАРЦЕНЮК^{1*}

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

ФОРМУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ ЗА ВИДАМИ ДІЯЛЬНОСТІ

Мета. Розробка теоретико-методологічних основ підвищення ефективності використання вантажних вагонів компаній-операторів в умовах реформування залізничного транспорту за рахунок удосконалення структури управління ними. **Методика.** Запропоновано теоретико-методологічний підхід до побудови ефективної структури управління вантажними вагонами компаній-операторів різних форм власності, впровадження якої дозволить суттєво знизити простой вагонів на технічних станціях, під вантажними операціями та в ремонті й тим самим покращити якісні показники використання рухомого складу в умовах реформування залізничного транспорту України. **Результати.** Розроблено удосконалений механізм управління вантажними перевезеннями, який відрізняється від існуючого пристосуванням його до умов реформованої галузі та організацію управлінських компаній, які разом із Українським транспортно-логістичним центром централізують управління всіма вантажними вагонами вітчизняних та закордонних компаній-операторів. **Наукова новизна.** Запропоновано для управління вантажними перевезеннями у вагонах компаній-операторів різної форми власності організувати кілька управлінських компаній, які б мали право розпоряджатися універсальними вагонами інших вітчизняних компаній-операторів, що знаходяться у них на правах оренди, та самостійно направляти їх у поточні та планові види ремонту; організовувати перевезення вантажів у спеціальних вагонах вітчизняних та закордонних компаній-операторів за визначеними нитками графіка на договірних умовах, залежно від виду та змісту договору; на основі додаткових договорів та за окрему плату виконувати поточні та планові види ремонту вантажних вагонів; розробляти організаційну структуру управлінської компанії, яка включає одночасно два напрямки діяльності (комерційний та ремонтний), що дозволить скоротити термін перебування рухомого складу на технічних станціях, під навантаженням та в неробочому парку, оскільки значною частиною технологічного циклу процесу перевезення буде управляти ця компанія. **Практична значимість.** Для ефективного використання вантажних вагонів компаній-операторів різних форм власності запропоновано новий теоретико-методологічний підхід, впровадження якого дозволить покращити якісні показники використання рухомого складу. Запропонована нова технологія управління вантажними перевезеннями вітчизняних і закордонних компаній-операторів за допомогою управлінських компаній та Українського транспортно-логістичного центру з розподілом перевезень залежно від виду рухомого складу, власника вагонів або залізничної адміністрації, організації перевезень. Розроблена методика побудови організаційної структури управлінської компанії, яка охоплює одночасно два види діяльності: комерційну та ремонт вагонів різної форми власності.

Ключові слова: структура управління підприємством; модель управління; вантажні перевезення; інфраструктура; реформування

Вступ

Транспорт – одна з базових галузей національної економіки, ефективне функціонування якої є необхідною умовою для забезпечення обороноздатності, захисту економічних інтересів держави та підвищення рівня життя населення.

З метою визначення напрямків подальшого розвитку та функціонування транспортного сектора економіки України, розширення міжнародних транспортних зв'язків, ефективного використання транзитного потенціалу країни, впровадження структурних реформ на транспорті. Кабінетом Міністрів України затверджено Транспортну стратегію України на період до 2020 року [7]. Одним із пріоритетних завдань залізничного транспорту є реформування його системи управління.

Останні 10 років ведеться робота за вказаним вище напрямком, але підхід до розв'язання цього питання постійно змінювався. Основними розробниками цієї проблеми були: Кірта Г. М., Козак В. В., Федюшин Ю. М., Лашко А. Д., Сіраков В. І., Цветов Ю. М., Макаренко М. В., Дикань В. Л., Ейтутіс Г. Д., Пашенко Ю. Є., Дейнека О. Г., Сич Є. М., Скалозуб В. В., Гненний М. В., Гненний О. М., Гречко А. В., Кондратюк М. В.

У галузі вантажних перевезень суттєвих зрушень останнім часом не відбулося. Організаційна структура не реформована, новий рухомий склад закуповується дуже повільно, ринок операторських послуг в Україні не розвинений, оскільки відсутня необхідна нормативно-правова база, яка б регулювала діяльність операторських компаній.

Мета

Після акціонування залізничного транспорту вантажні перевезення будуть виконуватися державними та приватними компаніями-операторами – власниками вантажних вагонів, які зможуть перевозити вантажі будь-яких вантажовласників. Для управління перевезеннями вантажів у вагонах компаній-операторів «Укрзалізниця» в 2011 році створила Державне підприємство «Український транспортно-логістичний центр», яке діє як державне комер-

ційне підприємство. Але, відповідно до антимонопольного законодавства, така структура не може існувати одна на транспортному ринку України. Враховуючи сказане вище, на порядку денному постало питання створення удосконаленої структури управління вантажними вагонами компаній-операторів різної власності в умовах реформування залізничної галузі.

Ця проблема потребує вирішення з урахуванням досвіду не тільки країн Європи, а й колишнього СРСР, оскільки специфічний розвиток країн СНД та Балтії не дозволяє повністю копіювати принципи реформування залізничного транспорту Європейського союзу [1].

Актуальність цих напрямків, їх недостатнє теоретичне, методологічне й практичне опрацювання визначили вибір теми дослідження.

Методика

Будь-яка велика організаційна структура управління підприємством, що має філії або структурні підрозділи в різних регіонах країни, може бути побудована лише за дивізійною схемою. Необхідною умовою для побудови цієї моделі є наявність в ній філій або структурних підрозділів, які мають інженерну службу, виробництво, бухгалтерію та збут, а також одноосібне керівництво всіма вказаними службами, крім функціональних (бухгалтерії).

З огляду на сказане, нова організаційна структура управління залізничним транспортом України за умови її реформування і корпоратизації за будь-якою моделлю мусить бути побудована за дивізійною схемою. У теорії управління організацією є два види дивізійних структур, які можна використати для побудови організаційної структури залізничної галузі:

- 1) дивізійна структура управління, що побудована за регіональною схемою;
- 2) дивізійна структура управління, що побудована за продуктовою схемою.

Першу модель управління (існуюча організаційна структура) керівництво Укрзалізниці називає функціонально-територіальною, а другу – вертикально-інтегрованою. Між ними є суттєва різниця – перша має більший ланцюг команд, ніж друга. Використання дивізійної структури управління, побудованої за продуктовою схемою, ефективніше, оскільки в ній задіяна менша кількість працівників апарату

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

управління і наявний короткий термін прийняття управлінських рішень. На основі сказаного економічно доцільно впровадити для управління залізничною галуззю дивізійну структуру управління за продуктовою схемою (рис. 1). Під продуктом слід розуміти певний вид перевезень або підсобно-допоміжної діяльності.

Необхідність розмежування видів діяльності зумовлена різницею відповідних ринків та основних засобів, які при цьому використовуються. Крім того, розмежування видів діяльності дозволить забезпечити прозорість механізму перехресного субсидування пасажирських перевезень за рахунок вантажних, що сприяє створенню основи для прийняття рішень відносно збитковості видів діяльності; виявити сфери скорочення експлуатаційних витрат та впровадити нові принципи тарифної політики; сформувати основу для ефективного державного регулювання.

В Україні розпочалася підготовча робота до реформування залізничного транспорту, метою якої є створення умов для підвищення ефективності функціонування й прискорення розвитку галузі та задоволення зростаючих потреб національної економіки й населення в перевезеннях, покращення якості транспортних послуг та зменшення транспортної складової в ціні продукції [2].

На цьому етапі слід розв'язати багато питань із підвищення ефективності функціонування окремих господарств у межах існуючого законодавства для їх безболісного переходу до роботи в умовах сучасного ринку. Це, насамперед, стосується найбільш прибуткових вантажних перевезень, підприємства яких будуть діяти на засадах конкурентної боротьби з приватними вітчизняними та закордонними компаніями-операторами.

Вже кілька років ведуться дебати щодо послідовності реформування залізничної галузі, оскільки в Державній цільовій програмі [3] остаточно не визначено модель реформування залізничного транспорту, але безапеляційно заявлено, що структура управління галуззю буде побудована за вертикально-інтегрованим принципом. «Укрзалізниця» додатково пропонувала спочатку утворити державний концерн, а потім переходити до реформування залізниць за інтеграційною моделлю. Це означає, що за-

мість шести залізниць буде утворено єдиний суб'єкт господарювання – юридичну особу, у складі якого будуть організовані департаменти за окремими видами перевезень.

Крім Державної цільової програми [3], затвердженої Урядом України, у 2010 році було розроблено Програму економічних реформ України на 2010–2014 роки [6], у якій приділено значну увагу реформуванню залізничного транспорту країни, але всі ці документи мали суто концептуальну спрямованість і не давали відповіді на багато запитань.

Авторами досліджено проблему удосконалення структури управління вантажними вагонами компаній-операторів в умовах реформування залізничної галузі. Ця проблема порізно вирішувалася в різних країнах, залежно від прийнятої моделі реформування галузі, і не всі залізничні дирекції знайшли найкращий варіант управління рухомим складом різних власників.

Наприклад, Росія ліквідувала інвентарний парк вантажних вагонів, об'єднала приватний рухомий склад під керівництвом вантажної компанії, використовує його за договорами, у яких власники рухомого складу дуже часто не дозволяють вантажним компаніям використовувати його на власний розсуд. Це призвело до: зростання оборотів вагонів на мережі залізниць; зниження ефективності використання рухомого складу; появи великої кількості «кинутих» вагонів на залізничних станціях, оскільки частина приватних компаній-операторів стає банкрутами; необхідності додаткового розвитку інфраструктури залізниць.

Залізниці Сполучених Штатів Америки працюють із власниками рухомого складу на інших умовах: усі вагони компаній-операторів керівна вантажна компанія використовує на умовах оренди на власний розсуд; за використання вагонів чужої власності вантажна компанія сплачує орендну плату компаніям-операторам із урахуванням прибутку від вантажних перевезень, що не дозволяє власникам вагонів ставати банкрутами.

Можна використовувати різні поєднання цих двох підходів для організації вантажних перевезень, але для кожної країни умови раціонального використання вантажних вагонів компаній-операторів залежать від багатьох фа-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

кторів: обсягів вантажів, які перевозяться залізницями країни, ступеня розподілу інфраструктури за видами вантажних та пасажирських перевезень, моделі реформування залізничної галузі країни, організаційної структури управління вантажними перевезеннями, обсягів функцій, які делеговані керівним вантажним компаніям, державного законодавства стосовно управління перевезеннями вантажів у країні.

Оптимізація цього процесу в Україні потребує розв'язання таких питань:

- Чи потрібно ліквідувати інвентарний парк вагонів «Укрзалізниці»?

- Чи потрібна нова нумерація вагонів, щоб уникнути затримки рухомого складу в країнах, де існують інші залізничні адміністрації?

- Скільки керівних структур управління парками вантажних вагонів необхідно організувати для виконання вимог антимонопольного законодавства?

- На яких умовах слід передавати рухомий склад керівним вантажним компаніям?

- Якою має бути організаційна структура керівної вантажної компанії?

- Яка оптимальна кількість вантажних вагонів повинна бути на залізничній мережі для покращення якісних показників їх використання?

- Що потрібно зробити для унеможливлення банкрутства малих компаній-операторів, які мають невелику кількість вантажних вагонів і залишають їх на станціях, що суттєво знижує пропускну спроможність залізничної інфраструктури?

- Які слід розробити правила для узгодження проблеми термінового або строкового повернення вагонів «Укрзалізниці», що використовують на власний розсуд у закордонних країнах залізничні адміністрації?

- Які слід розробити правові документи, щоб передати вантажним компаніям для управління процесом перевезень?

Для вирішення вказаної проблеми необхідно: обґрунтувати напрямок досліджень, розробити методи розв'язання завдань, розробити загальну методику проведення досліджень.

Відповідно до інтеграційної моделі реформування залізничної галузі для управління вантажними перевезеннями будуть утворені нові підприємства компанії ДАТ «Укрзаліниця».

Раїс Фатхутдінов у своєму посібнику зазначає: «Під реформою підприємств мається на увазі, по-перше, зміна принципів їх дій, спрямована на реструктуризацію, що сприяє покращенню управління, підвищенню ефективності виробництва й конкурентоспроможності продукції, продуктивності праці, зниження витрат виробництва, покращення фінансово-економічних результатів діяльності, а по-друге, заходи державної підтримки вказаних змін» [8].

Відповідно до сказаного вище, підприємства з управління вантажними вагонами слід розглядати у взаємному зв'язку із зовнішнім середовищем, яке представлено окремими компаніями-операторами та клієнтами залізниць.

Задачі такого класу Фатхутдінов пропонує розв'язувати за допомогою системного підходу. «Системний підхід – це методологія дослідження об'єктів як системи. Система утворюється з двох складових: первинно-зовнішнього оточення, яке включає вхід і вихід системи, зв'язок із зовнішнім середовищем, зворотний зв'язок, та вторинно-внутрішньої структури – сукупності взаємопов'язаних компонентів, які забезпечують процес впливу суб'єкта на об'єкт, переробку входу у вихід і досягнення цілей системи» [8].

Послідовність розв'язання проблеми раціонального управління вантажними перевезеннями в умовах сучасного ринку передбачає:

- 1) аналіз процесу та структури управління вантажними перевезеннями.

- 2) визначення економічного критерію для порівняння альтернативних варіантів управління вантажними вагонами компаній-операторів.

- 3) виявлення альтернативних варіантів управління вантажними вагонами та вибір найкращого варіанту.

У свою чергу, аналіз процесу управління вантажними перевезеннями передбачає: детальне вивчення «Програми реформування залізничної галузі» [3], «Програми Президента» [6], «Законодавства України» та інших нормативних документів, на основі яких буде відбуватися реструктуризація залізничного транспорту України; аналіз існуючих вантажних перевезень у динаміці з урахуванням появи на транспортному ринку приватних компаній-операторів із власним рухомим складом та визначення тенденції перетікання перевезень найбільш

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

прибуткових вантажів у приватний сектор; вплив автомобільного транспорту України як основного конкурента залізничного транспорту; аналіз виконання існуючої комерційної роботи на залізничному транспорті з визначенням основних функцій Головного комерційного управління та його організаційної структури; аналіз організації технологічного процесу перевезення вантажів, підготовки вагонів під навантаження, виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, обслуговування рухомого складу поточними видами ремонту; аналіз стану вантажних вагонів України та чужої власності, вітчизняних, закордонних компаній-операторів та залізничних адміністрацій інших країн.

У сфері вантажних перевезень в окремі напрямки діяльності доцільно виділити транзитні, інтермодальні, рефрижераторні та інші види спеціальних перевезень, що зумовлюються специфікою їх діяльності та високим рівнем конкуренції у цих сферах на міжнародному та внутрішньому ринках.

Запропонований розподіл вантажних перевезень і збереження їх корпоративної залежності від компанії дозволить розширити сектор залізничного бізнесу й водночас зберегти функції компанії як національного перевізника, гарантувати виконання перевезень для державних потреб, у тому числі військових та соціальних перевезень.

На підставі сказаного вище можна зробити такі висновки:

1) реформування організаційної структури управління залізничним транспортом не може привести до порушення існуючої технологічної єдності окремих видів перевезень, ремонту інфраструктури і рухомого складу та інших видів підсобно-допоміжної діяльності.

2) реформування мусить виконуватися за вертикально-інтегрованим принципом, що дозволить не тільки зберегти, а й оптимізувати технологічну єдність окремих видів перевезень, ремонту інфраструктури і рухомого складу та інших видів підсобно-допоміжної діяльності у межах однієї юридичної особи.

Після реєстрації Державної акціонерної компанії «Українські залізниці» шість залізниць України втратять статус юридичної особи. Замість них будуть організовані шість філій

компанії, які поступово трансформуються у регіональні дирекції (назва не встановлена) – філії компанії за окремими видами перевезень та діяльності. Їм будуть підпорядковані відповідні структурні підрозділи. На третьому етапі реформування деякі регіональні дирекції трансформуються в дочірні підприємства, акціонерні товариства та ін., і лише частина регіональних дирекцій (сектори) залишаться як філії для управління інфраструктурою, перевізною діяльністю, локомотивною тягою та деякими видами обслуговування. Серед них:

- сектор інфраструктури та перевізної роботи для ремонту та утримання інфраструктури залізниць, забезпечення перевізної роботи приміських поїздів у складі: локомотивний парк, експлуатаційні депо, РЦП та обчислювальні центри;

- сектор тяги «Укрлокомотив» для: забезпечення тяги пасажирських та вантажних поїздів у складі експлуатаційної частини локомотивних депо, магістральних та маневрових локомотивів.

- сектор обслуговування для: матеріально-технічного забезпечення структурних підрозділів філій компанії, вокзального сервісу, енергозабезпечення структурних підрозділів компанії, забезпечення електричною енергією та паливом поїздів медичного забезпечення працівників залізничного транспорту (тільки профільні активи), професійного розвитку працівників залізничного транспорту.

На усіх етапах структурної реформи залізниці України залишаються як організаційно-технологічні ланки по управлінню інфраструктурою, основною метою яких є її утримання, обслуговування та ремонт.

Інфраструктура залізничного транспорту згідно Закону України «Про залізничний транспорт» – це технологічний комплекс, що включає в себе: залізничні колії; інженерні споруди (мости тунелі, віадуки тощо); залізничні станції; електричні мережі, тягові підстанції, контактну мережу, інші пристрої технологічного електропостачання; системи сигналізації, централізації, блокування, зв'язку і телекомунікацій; управління рухом поїздів; шляхи доступу пасажирів і вантажів до об'єктів інфраструктури; захисні лісонасадження; пункти технічного обслуговування вагонів; вокзали; інші будів-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

лі, споруди, пристрої та обладнання, що забезпечує функціонування цього комплексу, та використовуються для надання послуг залізничного транспорту, в тому числі призначені для проведення аварійно-відновлювальних ро-

біт, охорони навколишнього середовища; земельні ділянки, що передані в користування під зазначені об'єкти інфраструктури в установленому порядку [5].

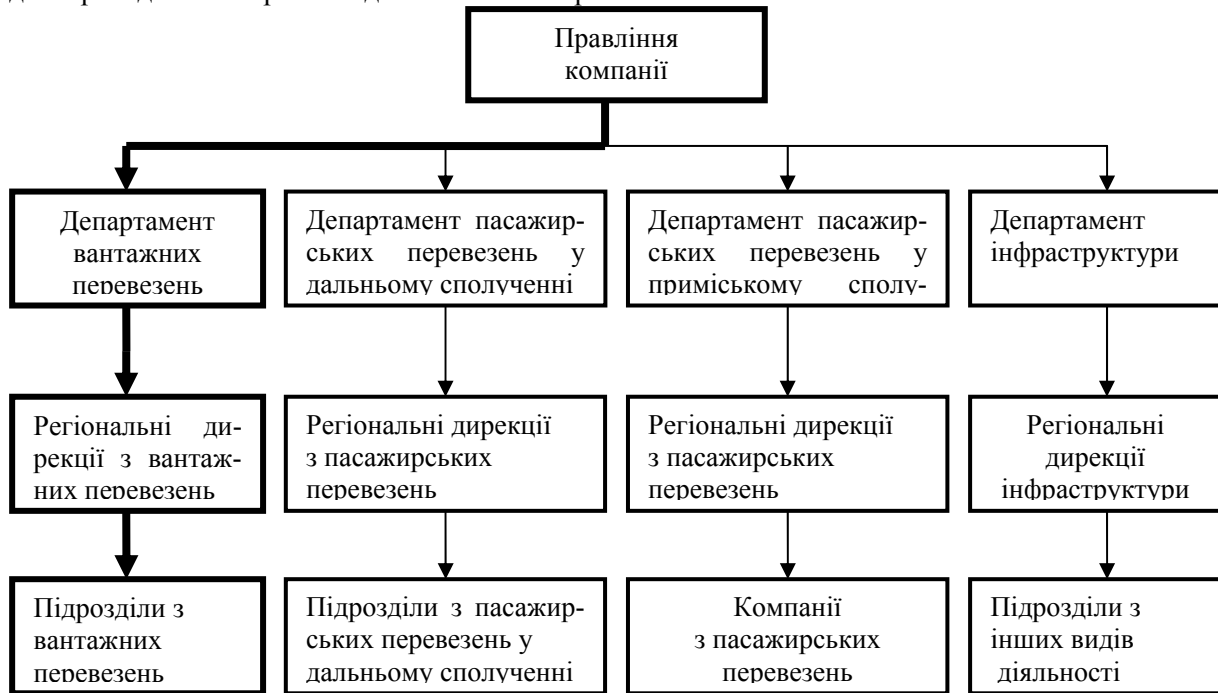


Рис. 1. Дивізійна організаційна структура управління залізничним транспортом за продуктовою схемою

Крім вказаної вище інфраструктури, є структурні підрозділи та споруди, які входять до інфраструктури, спеціалізованої за видами перевезень, і згідно антимонопольного законодавства не можуть бути переданими на приватизацію. Такими є пасажирські технічні станції; ремонтно-екіпірувальні депо та пункти; пункти підготовки вантажних вагонів та контейнерів до перевезень та ін.

Усі перелічені структурні підрозділи є складовою частиною організаційно-технологічного механізму по пасажирським та вантажним перевезенням, але повинні залишатися у складі інфраструктури залізниць.

Програмою економічних реформ України заплановано утворити на третьому етапі реформування залізничного транспорту (2013–2014 роки) конкурентне середовище на ринку залізничних послуг [6].

Передбачається організувати такі види послуг із перевезення вантажів: перевезення вантажів у спеціалізованому рухомому складі; пе-

ревлення вантажів в універсальному рухомому складі; перевезення вантажів у контейнерних поїздах; ремонт вантажного рухомого складу депо-вським капітальним та капітально-відновлювальним ремонтом; ремонт контейнерів; ремонт залізничної інфраструктури.

Для реалізації конкурентного середовища на ринку залізничних послуг запропоновано створити залежні відкриті акціонерні товариства, які будуть функціонувати разом із приватними компаніями-операторами, підприємствами з ремонту інфраструктури та рухомого складу:

– в галузі вантажних перевезень: ВАТ «Укрспецвагон»; ВАТ «Укррефтранс»; ВАТ «Ліски»; ВАТ «Укрвагон». (Питання про організацію останнього підприємства зараз дебатється, оскільки потрібно таке управління парками універсальних вагонів, яке дозволить брати в оренду вагони вітчизняних приватних операторів для оптимізації процесу перевезень. Це необхідно для зниження терміну обороту приватних вагонів, зменшення кількості робо-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

чого парку на мережі залізниць, зниження витрат на їх утримання та інвестицій на розвиток інфраструктури залізниць);

- послуги з ремонту інфраструктури: ВАТ «Укрремколія»;

- послуги з ремонту тягового рухомого складу: ВАТ «Укрремлокомотив» у складі ремонтної частини локомотивних депо; ВАТ ЗЕРЗ, ВАТ ЛЛРЗ, ВАТ ДТРЗ, ВАТ КЕВРЗ;

- послуги з ремонту вантажних вагонів: ВАТ ПВРЗ; ВАТ СтрВРЗ; ВАТ з 17 вагоноремонтними депо.

Підвищення конкурентоспроможності вантажних перевезень слід розпочинати ще до реформування залізничного транспорту України, оскільки приватні вітчизняні, а потім і міжнародні перевізники отримають можливість використовувати залізничну інфраструктуру ДАТ «Укрзалізниця» і поступово зможуть витіснити національного перевізника з вітчизняного ринку залізничних послуг.

Крім того, транзитний потенціал України не використовується повною мірою: вантажопотік між Європою й Росією через Білорусь у 5 разів вищий, ніж через Україну. Україна посідає 102-е місце серед 155 країн за індексом логістичної ефективності. Така позиція значною мірою зумовлена неефективністю митних процедур.

Результати

Для ліквідації такого становища в галузі вантажних перевезень та підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту на внутрішньому та міжнародних ринках транспортних перевезень необхідно:

- сформувати нормативну базу для підвищення ефективності та конкурентоспроможності залізничних перевезень;

- організувати систему логістичних центрів для підвищення ефективності перевезення вантажів, використання рухомого складу та збільшення обсягів перевезень;

- забезпечити розвиток інфраструктури залізниць для забезпечення ефективної взаємодії з морськими портами при перевезенні вантажів, що буде сприяти державно-приватному партнерству та підвищенню конкурентоспроможності залізничного транспорту;

- оновити парк вантажних вагонів за рахунок закупівлі вагонів нового покоління;

- рекомендувати до впровадження бімодальну технологію «РейлРаннер» для перевезення вантажів у контейнерах залізницями України, особливо у напрямках міжнародних транспортних коридорів;

- надалі використовувати інтермодальні та контрейлерні перевезення транзитних вантажів по міжнародних коридорах та за кордон.

Забезпечення рентабельної діяльності перевезень вантажів можливо за рахунок таких заходів:

- 1) збільшення обсягів перевезень вантажів за рахунок повернення частини втрачених перевезень від автомобільного транспорту, враховуючи шкідливий вплив останнього на довкілля та суттєві кошти на утримання його інфраструктури;

- 2) збільшення обсягів вантажних транзитних перевезень, оскільки Україна прямує до вступу до єдиного транспортного простору Європи за умови адаптації українського законодавства до європейських норм;

- 3) ліквідації галузевих знижок та впровадження регульованих тарифів, що забезпечать покриття економічно обґрунтованих витрат на інвестиційну складову;

- 4) зниження витрат на вантажні перевезення за рахунок включення універсальних вагонів іншої власності в інвентарний парк на умовах оренди, що дозволить оптимально управляти усім парком приватних вагонів. Це дозволить не повторити помилки інших країн стосовно суттєвого зростання обороту вантажних вагонів, термінового повернення порожніх вагонів власнику, використання їх як складів на колесах, що врешті-решт призведе до необхідності додатково розвивати інфраструктуру залізниць;

- 5) зниження витрат на ремонт вантажних вагонів за рахунок раціонального розподілу програми деповського та інших видів ремонту по депо і заводах;

- 6) спеціалізації вагонних депо на окремі види ремонту, модернізація їх основних засобів з доведенням їх програми до оптимальної, залежно від кількості ремонтних позицій, відновлення поточного методу ремонту в окремих депо;

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

7) передачі на приватизацію частини надлишкових ремонтних вагонних депо та спеціалізації іншої частини у експлуатаційні депо;

8) виділення частини підприємств з ремонту інфраструктури та рухомого складу, обсяги продукції або послуг яких для інших підприємств галузі складають менше 50 відсотків загальних обсягів цих підприємств, як непрофільних активів на приватизацію. Це дозволить значно знизити витрати залізничного транспорту, оскільки ціни цих непрофільних послуг або продукції будуть нижчими, ніж утримання цих активів [5].

Для оптимального вирішення проблеми управління парками вантажних вагонів в Україні необхідно дослідити можливі варіанти:

1) побудови організаційної структури управлінських компаній та визначення їх кількості;

2) збереження інвентарних номерів рухомого складу або його перенумерації;

3) визначення оптимальної кількості вантажних вагонів на залізничній мережі за умови покращення якісних показників роботи вагонних парків;

4) унеможливлення банкрутства малих компаній-операторів, які мають невелику кількість вантажних вагонів і залишають їх на станціях, що суттєво знижує пропускну спроможність залізничної інфраструктури;

5) узгодження проблеми термінового або строкового повернення вагонів «Укрзалізниці», які використовують на свій розсуд залізничні адміністрації закордонних країн;

6) створення правових документів, на основі яких вантажні вагони будуть передані управлінським компаніям для управління процесом перевезень.

Оскільки після реформування залізничної галузі в Україні в умовах сучасного ринку будуть одночасно працювати вітчизняні та закордонні компанії-оператори та вагони різних залізничних адміністрацій, необхідно побудувати раціональну модель управління вантажними перевезеннями та порожніми вагонопотоками [6].

Можна визначити три основні підходи до управління вантажними перевезеннями в умовах ринку. Кожний з них використовується в

різних країнах залежно від моделі організації управління вантажними перевезеннями. Детально сутність цих підходів описана нижче.

1. Парк вантажних вагонів перебуває у компаній-операторів різних форм власності, які добровільно на умовах взаємного договору передають його в управління керівним вантажним компаніям. Ці компанії самостійно на власний розсуд розпоряджаються рухомим складом, направляють їх під навантаження, для вивантаження, у поточні види ремонту. За експлуатацію рухомого складу іншої власності вантажні компанії сплачують орендну плату або інші виплати, до яких входить частка прибутку за використання вагонів. Така форма організації вантажних компаній використовується у Сполучених Штатах Америки та в багатьох інших країнах [10].

2. Парк вантажних вагонів перебуває у компаній-операторів різних форм власності, які добровільно на умовах взаємного договору передають його під управління керівним вантажним компаніям, але мають право самостійно встановлювати маршрути перевезення вантажів та умови термінового повернення рухомого складу. За перевезення вантажів та повернення порожніх вагонів компанії-оператори сплачують вантажній компанії вартість нитки графіка та її послуги. Така форма організації вантажних перевезень не є ефективною, про що свідчить перший досвід організації перевезень у Росії [9].

3. Усі вантажні вагони поділені на окремі парки за видами рухомого складу. Спеціалізовані вантажні вагони, рефрижератори та контейнери виділяються в окремі парки. Вантажні компанії використовують цей рухомий склад на умовах, описаних у пункті 2. Універсальні вагони вітчизняних компаній-операторів передаються для управління на умовах, наведених у пункті 1. Компанії-оператори інших залізничних адміністрацій мають право самостійно встановлювати маршрути перевезення своїх вантажів та терміново повертати рухомий склад на основі міждержавної домовленості.

Окремо можна сказати про утворення Українського транспортно-логістичного центру (УТЛЦ), але вважати його окремим варіантом не доцільно, оскільки він не може в умовах реформування галузі виконувати функції оренди

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

рухомого складу, комерційної роботи та іншої статутної діяльності, яка за чинним антимонопольним законодавством мусить виконуватися на конкурентній основі.

Наукова новизна та практична значимість

З огляду на сказане, автори вважають УТЛЦ необхідною державною структурою, яка може існувати у складі Державного акціонерного товариства залізничного транспорту загального користування разом із регулятором та інфраструктурою (господарством перевезень та локомотивним господарством), виконувати регулюючі функції з перевезень вантажів та подачі порожніх вагонів під навантаження, або не виконувати комерційних господарчих функцій.

Варіант Українського транспортно-логістичного центру може працювати в умовах ринку вантажних транспортних послуг тільки разом з управлінськими компаніями (термін ДПТу). В Росії вони називаються вантажними компаніями, функції яких автори пропонують значно поширити.

Зараз в Україні пропонується утворити ДЗП – дочірні залежні підприємства на базі Дарницького вагоноремонтного заводу (у володіння передаються піввагони); ДП «Укрспецвагон» (у володіння передається спеціальний рухомий склад); Стрийського вагоноремонтного заводу (у володіння передаються цистерни та спеціальний рухомий склад); Державного підприємства «Укррефтранс» (у володіння передаються криті вагони); УДКТЦ «Ліски» (у володіння передаються платформи, транспортери та контейнери), функції яких подібні до функцій, які пропонується надати управлінським компаніям.

Думка про утворення управлінських компаній на заміну вантажних компаній Росії, була запропонована фахівцями Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДПТ) ще на міжнародній конференції, яка проводилася у м. Яремче у листопаді 2010 року.

Суттєва різниця між новою моделлю «Укрзалізниці» (листопад 2011 року) та запропонованою ДПТом (березень 2011 року) полягає в тому, що Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту (в т. ч. і ав-

тори) запропонували структуру управління вантажними вагонами з більш жорсткими правилами взяття в оренду універсального рухомого складу чужої власності.

Ці правила дозволяють управлінській компанії розпоряджатися універсальними орендованими вагонами та перевозити вантажі будь-яких клієнтів. Це дозволить уникнути помилок, які були допущені керівництвом ВАТ «Російські залізниці», а саме:

1. банкрутства малих та середніх компаній-операторів – власників рухомого складу, які кидали власні вагони на коліях залізничних станцій;

2. збільшення терміну обороту універсальних вагонів, власники яких не дозволяли використовувати свій рухомий склад для перевезення інших вантажів;

3. збільшення кількості вантажних вагонів у парках, які необхідні для перевезення заданих обсягів вантажів, що потребує вкладання додаткових інвестицій у розвиток інфраструктури залізниць;

4. складність управління парками вантажних вагонів та виконання регулювання порожніх маршрутів.

Крім того, запропонована модель управління вантажними вагонами дозволяє знизити термін обороту вагонів за рахунок скорочення часу простою рухомого складу під навантаженням та на технічних станціях за рахунок оперативного управління розвантажувально-навантажувальними роботами; оперативної подачі вагонів на пункти підготовки вагонів під навантаження; оперативної подачі «хворих вагонів» в експлуатаційне депо для проведення поточного ремонту з відчепленням; оперативного та якісного виконання деповських та капітальних ремонтів рухомого складу, оскільки управлінські компанії будуть включати до свого складу основні фонди, на яких виконуються перелічені роботи.

Слід сказати, що Росія поступово почала виправляти помилки, допущені в ході реформування залізничної галузі, і зараз пропонує організувати для управління вантажними перевезеннями пули.

За визначенням економічної енциклопедії, пул – це форма монополії або іншого господарського структурного підрозділу, у якому при-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

буток суб'єктів цієї діяльності надходить до спільного фонду й розподіляється між ними заздалегідь визначеними пропорціями або квотами. Але згідно зі сказаним вище, не визначено форми управління рухомим складом компаній-операторів та форми взаємних розрахунків із власниками вагонів.

Для управління вантажними перевезеннями в Україні автори пропонують використання третього підходу.

В Україні зараз існує кілька парків вантажних вагонів, класифікація яких пропонується:

1. Парком спеціальних вагонів буде управляти компанія-оператор «Укрспецвагон». До її парку увійдуть котуновози. Специфіка полягає в тому, що ці вагони, як правило, виконують перевезення в одному напрямку, а у зворотному напрямку їдуть порожніми, оскільки їх необхідно терміново повертати власнику рухомого складу. Інший спеціалізований рухомий склад буде передано Стрийському вагоноремонтному заводу.

Якщо вітчизняні та закордонні компанії-оператори будуть працювати в Україні, то управляти їхніми спеціальними вагонами будуть вказані оператори або інша управлінська компанія на умовах підходу 2 та згідно з антимонополюним законодавством;

2. Парки універсальних вагонів «Укрзалізниця» та інших вітчизняних і закордонних компаній-операторів (у тому числі інших залізничних адміністрацій) згідно з антимонополюним законодавством будуть управлятися будь-якою управлінською компанією України, діяльність якої відповідатиме певним правилам, та яка буде мати ліцензію. Управління вітчизняними та закордонними вагонами здійснюватиметься на умовах підходу 3. До цих компаній «Укрзалізниця» пропонує залучити Дарницький та Стрийський вагоноремонтні заводи, УДКТЦ «Ліски» та ДП «Укррефтранс».

Кількість управлінських компаній, за вимогами антимонополюного законодавства, повинна бути не менш, ніж чотири. Дуже важливо, щоб після реформування залізничної галузі державі належало не менш, ніж 75 відсотків акцій кожної управлінської компанії для того, щоб не допустити перехід у приватні руки управління вантажними перевезеннями.

«Укрзалізниця» нумерацію вантажних вагонів поки не змінила, і це призвело до того, що залізничні адміністрації інших країн не дотримуються правил використання іноземних вагонів. Росія перетримує український рухомий склад, оскільки в неї власних вагонів не вистачає, а штрафні санкції дуже низькі й дозволяють використовувати вагони «Укрзалізниця» понад нормативний строк. Водночас БАТ «Російські залізниці» почали ліквідовувати свій інвентарний парк і перенумеровувати на «5», що за вимогами міждержавної угоди потребує термінового повернення вагонів.

Для цього потрібно спочатку організувати компанії-оператори з парком вагонів, які будуть належати національному перевізнику – «Укрзалізниця», перенумерувати рухомий склад на «5» та створити управлінські вантажні компанії, які будуть брати вагони інших компаній-операторів у оренду або на інших умовах.

Це дасть змогу централізувати управління вантажними перевезеннями, оптимізувати кількість вантажних вагонів на залізницях України та підвищити якість їх використання.

Висновки

Для ефективної роботи залізничної галузі необхідно запровадити нові принципи організації фінансових потоків та зробити їх якомога прозорішими. Для цього пропонуються деякі рекомендації:

1. Прозорість висвітлення інформації про економічний стан структурних підрозділів, що входять до конкретних галузевих господарств. Рекомендується запровадити такі принципи обліку та класифікацію джерел доходів і витрат, які дозволять повністю бачити рентабельність того чи іншого виду діяльності. Надалі на підставі отриманої інформації про існуючий рівень витрат необхідно створити механізм їх зниження.

2. Розподіл обліку за видами діяльності на перевізний та підсобно-допоміжний. У свою чергу, перевізну діяльність необхідно розділити на: вантажні перевезення; пасажирські перевезення у внутрішньодержавному, міждержавному та міжнародному сполученні; пасажирські перевезення в приміському сполученні; експлуатацію та утримання інфраструктури.

3. Державні ресурси слід розподіляти так,

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

щоб автомобільний і залізничний транспорт брали участь у витратах на утримання своєї інфраструктури, якою вони користуються рівною мірою. У той час, коли автомобільний транспорт несе лише мінімальні витрати, пов'язані з будівництвом інфраструктури, залізниці, вимушені самі фінансувати власні капіталовкладення, втрачають свою конкурентну перевагу. Бюджет також повинен перебрати витрати на утримання тих залізничних ліній, які економічно не обґрунтовані. Разом із тим, обсяг і можливість утримання таких ліній потребують ретельної перевірки.

4. В Україні, як і в країнах ЄС, здійснюється державне фінансування розвитку інфраструктури, проте суттєва різниця полягає в тому, що в ЄС залучаються кошти і приватних перевізників, у той час як в Україні підтримка залізничної інфраструктури відбувається за державні кошти. В сучасних умовах функціонування галузі єдиним джерелом інвестицій в залізничний транспорт України можуть бути лише доходи від транспортних підприємств, оскільки коштів у Державному бюджеті для цього не передбачено.

Держава має компенсувати «Укрзалізницю» збитки, пов'язані з забезпеченням соціальних перевезень, однак ці виплати відбуваються далеко не в повних обсягах. Єдиний фінансовий баланс залізниці передбачає покриття збитків від пільгових перевезень за рахунок прибутків від вантажних. Ця система, враховуючи монопольний стан залізниці та з огляду на недофінансування з боку держави, призводить до зниження якості надання послуг залізничного транспорту як для пасажирів, так і для вантажовласників.

Наявність перехресного субсидування пасажирських перевезень за рахунок вантажних і діючий механізм розподілу доходів не дозволяють досягти необхідного рівня фінансової прозорості, що є суттєвим бар'єром для вкладання інвестицій в залізничну галузь.

Невідповідність якості послуг залізничного транспорту зростаючим споживчим вимогам та міжнародним стандартам призводить до зниження користування залізничним транспортом із боку іноземних перевізників, які обирають більш привабливі за часом та ціною маршрути транспортування.

Реформування системи залізничного транспорту сьогодні є об'єктивною необхідністю. Воно є першим кроком на шляху інституційної адаптації залізничного транспорту України до стандартів ЄС, а також застосування прозорих ринкових механізмів для надання можливості приватним компаніям вийти на ринок залізничних перевезень (надати необхідні ліцензії, доступ до залізних колій та мереж тощо).

В Україні питанням, що пов'язані із комерційною діяльністю залізниць, приділено мало уваги, оскільки залізничний транспорт знаходиться у державній власності, питання про відкриття ринку залізничних вантажних перевезень та перевезень пасажирів на конкурентній основі поки що не віднесено до актуальних. У законодавстві України не передбачено окремого органу, який би виконував окремо функції із розподілення потужностей інфраструктури, як це потребує система ЄС.

Для підвищення інвестиційної привабливості українські залізниці мусять: провести реформування залізничного транспорту з урахуванням специфіки його функціонування; підвищити ефективність корпоративного управління; виділити непрофільні активи і провести повну або часткову приватизацію в сегментах галузі, які не відносяться до природних монополій; створити регулюючий орган в сфері залізничного транспорту, який забезпечить справедливі і недискримінаційні умови доступу до залізничної інфраструктури та послуг. Регулюючий орган має бути незалежним та апеляційним органом при врегулюванні суперечок щодо дотримання умов недискримінаційного доступу до ринку транспортних послуг.

Після виконанні цих заходів для залучення сторонніх інвестицій необхідно запропонувати приватним інвесторам вкладати кошти у непрофільні підприємства з ремонту інфраструктури та рухомого складу і складати договори з залізницями на виконання цих робіт на умовах аутсорсингу; створити привабливі умови для вкладання приватних інвестицій у розвиток окремих залізничних ліній та придбання нового рухомого складу.

На основі сказаного вище констатуємо – авторами запропоновані основні принципи побудови залізничних підприємств (компаній) з перевезення вантажів з врахуванням таких пер-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

шочергових заходів, як: збереження технологічної єдності транспортної діяльності; формування організаційної структури за видами діяльності; збереження залізниць як організаційно-технологічної ланки з управління інфраструктурою; розвиток конкурентного середовища на ринку залізничних перевезень, ремонту інфраструктури, рухомого складу тощо; підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту на внутрішньому ринку та ринку міжнародних транспортних перевезень; забезпечення рентабельної діяльності; організація фінансових потоків та підвищення прозорості фінансово-господарської діяльності; підвищення інвестиційної привабливості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бараш, Ю. С. Реформування залізничного транспорту в країнах колишнього СРСР / Ю. С. Бараш // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 250–258.
2. Бараш, Ю. С. Удосконалення механізму управління вантажними залізничними перевезеннями / Ю. С. Бараш, Л. В. Марценюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 40. – С. 211–215.
3. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010–2015 роки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-п>. – Назва з екрану.
4. Дикань, В. Л. Удосконалення організаційної структури залізничного комплексу України в сучасних умовах : монографія / В. Л. Дикань, М. І. Данько, М. В. Кондратюк. – Х. : УкрДАЗТ, 2010. – 190 с.
5. Про залізничний транспорт : Закон України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi>. – Назва з екрану.
6. Про Національний план дій на 2011 рік щодо впровадження Програми економічних реформ на 2010-2014 роки «Заможне суспільство, конкурентоспроможна економіка, ефективна держава» : Указ Президента України № 504/2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://president.gov.ua/documents/13492.html>. – Назва з екрану.
7. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://taxoport.com/files/docs/trans_strateg_2020.doc. – Назва з екрану.
8. Фатхутдинов, Р. А. Управление конкурентоспособностью организации : учебное пособие / Р. А. Фатхутдинов. – М. : Эксмо, 2004. – 544 с.
9. Эйтулис, Г. Д. Основные модели управления железными дорогами / Г. Д. Эйтулис // Залізничний транспорт України. – 2007. – № 6 (65). – С. 24–25.
10. José, A. Gómez-Ibáñez. Railroad Reform: an overview of the options [Електронний ресурс] / José A. Gómez-Ibáñez. Режим доступу: http://www.hks.harvard.edu/var/ezp_site/storage/ckeditor/file/pdfs/centers-programs/centers/taubman/working_papers/gomezibanez_04_railway.pdf. – Назва з екрану.

Ю. С. БАРАШ¹, Л. В. МАРЦЕНЮК^{1*}

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

ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПО ВИДАМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Цель. Разработка теоретико-методологических основ повышения эффективности использования грузовых вагонов компаний-операторов в условиях реформирования железнодорожного транспорта за счет усовершенствования структуры управления ими. **Методика.** Предложен теоретико-методологический подход к построению эффективной структуры управления грузовыми вагонами компаний-операторов разной формы собственности, внедрение которого позволит существенно снизить простои вагонов на технических станциях, под грузовыми операциями и в ремонте, и тем самым улучшить качественные показатели использования подвижного состава в условиях реформирования железнодорожного транспорта Украины. **Результаты.** Разработан усовершенствованный механизм управления грузовыми перевозками, отличающийся от существующего приспособлением его к условиям реформированной отрасли и организацией управленческих ком-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

паний, которые вместе с Украинским транспортно-логистическим центром (УТЛЦ) централизуют управление всеми грузовыми вагонами отечественных и зарубежных компаний-операторов. **Научная новизна.** Для управления грузовыми перевозками было предложено в вагонах компаний-операторов различной формы собственности организовать несколько управленческих компаний, которые бы имели право распоряжаться универсальными вагонами других отечественных компаний-операторов, находящихся у них на правах аренды, и самостоятельно направлять их в текущие и плановые виды ремонта; организовывать перевозки грузов в специальных вагонах отечественных и зарубежных компаний-операторов на договорных условиях, в зависимости от вида и содержания договора, на основе дополнительных договоров и за отдельную плату выполнять текущие и плановые виды ремонта грузовых вагонов; разработана организационная структура управленческой компании, которая включает одновременно два направления деятельности (коммерческий и ремонтный), что позволит сократить время пребывания подвижного состава на технических станциях, под погрузкой и в нерабочем парке, поскольку значительной частью технологического цикла процесса перевозки будет управлять эта компания. **Практическая значимость.** Для эффективного использования грузовых вагонов компаний-операторов различных форм собственности предложен новый теоретико-методологический подход, внедрение которого позволит улучшить качественные показатели использования подвижного состава. Предложена новая технология управления грузовыми перевозками отечественных и зарубежных компаний-операторов с помощью управленческих компаний и Украинского транспортно-логистического центра с распределением перевозок в зависимости от вида подвижного состава, владельца вагонов или железнодорожной администрации, организации перевозок. Разработана методика построения организационной структуры управляющей компании, которая охватывает одновременно два вида деятельности: коммерческую и ремонт вагонов различной собственности.

Ключевые слова: структура управления предприятием; модель управления; грузовые перевозки; инфраструктура; реформирование

U. S. BARASH¹, L. V. MARTSENYUK^{1*}

^{1*}Dep. "Accounting, Audit and Intellectual Property", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str. 2, 49010, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (093)934 18 03, e-mail rwinform1@rambler.ru

FORMING THE ORGANIZATIONAL STRUCTURE FOR ACTIVITIES

Purpose. Development of theoretical and methodological foundations of efficiency of freight cars operating companies in railway reform through improved management structure them. **Methodology.** A theoretical and methodological approach for building effective management structure of freight wagons operating companies of different ownership forms is proposed, its introduction will significantly reduce detention of cars on technical stations under loading operations and maintenance, and thereby to improve the quality parameters of rolling stock usage in reform conditions of Ukraine railway transport. **Findings.** An improved control mechanism of cargo transportation is developed, it is different from the existing by its adaptation to the conditions of the reformed sector and the organization of management companies which together with the Ukrainian Transport and Logistics Center (UTLC) centralize management of all freight cars of domestic and foreign operating companies. **Originality.** It is proposed for management of cargo transportation in wagons operating companies of different ownership to organize a series of management companies that would have the right to dispose of universal cars of other domestic operating companies, being on leasehold basis, and to direct them to current and scheduled repairs by themselves; to organize the cargo transportation in wagons of domestic and foreign operating companies on a contractual terms, depending on the type and content of the contract, on the basis of additional contracts for a separate fee to perform current and scheduled repair of freight cars; the management company organizational structure is developed, it includes simultaneously two directions of activity: commercial and repair, it will reduce the stay time of rolling stock on the engineering stations during loading and in a non-operating park as far as this company will manage a significant part of the production cycle of the transportation process. **Practical value.** For efficient use of freight cars operating companies of different ownerships a new theoretical and methodological approach is proposed. It will improve the quality parameters of the rolling stock usage. The new technology of cargo transportation control of domestic and foreign operating companies through management companies and Ukrainian Transport and Logistics Center with the distribution of traffic depending on rolling stock type, owner cars or railway administration, organization of trans-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

portation is offered. The technique of the organizational structure of the management company, which includes a combination of two types of activities: commercial and cars repair of different ownership is developed.

Keywords: structure of enterprise management; management model; cargo transportation; infrastructure; reforming

REFERENCES

1. Barash Yu. S. Reformuvannya zaliznychnoho transportu v krainakh kolyshnoho SRSR. [Railway Reformarion in the former USSR]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 250-258.
2. Barash Yu. S., Martseniuk L.V. Udoshkonalennia mekhanizmu upravlinnia vantazhnymy zaliznychnymy perevezenniamy [Improving of management mechanism of freight transportation by railroad]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 40, pp. 211-215.
3. *Derzhavna tsilova prohrama reformuvannya zaliznychnoho transportu na 2010–2015 roky* (The government target railway reform program for 2010-2015). Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009> (Accessed 5 March 2013).
4. Dykan V.L., Danko M.I., Kondratiuk M.V. *Udoshkonalennia orhanizatsiinoi struktury zaliznychnoho kompleksu Ukrainy v suchasnykh umovakh* [Improving the organizational structure of the Ukraine railroad complex in modern conditions]. Kharkiv, UkrDAZT Publ., 2010, 190 p.
5. *Pro zaliznychnyi transport: zakon Ukrainy* (Law of Ukraine “On Railway Transport”). Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi> (Accessed 5 March 2013).
6. *Pro Natsionalnyi plan dii na 2011 rik shchodo vprovadzhennia Prohramy ekonomichnykh reform na 2010-2014 roky «Zamozhne suspilstvo, konkurentospromozhna ekonomika, efektyvna derzhava»: Ukaz Prezydenta Ukrainy.* (Decree of the President of Ukraine № 504/2011 on the National Action Plan for 2011 on the implement of economic reform program for 2010-2014 "Prosperous Society, Competitive Economy, Effective State"). Available at: <http://president.gov.ua/documents/13492.html/> (Accessed 5 March 2013).
7. *Stratehiia rozvytku zaliznychnoho transportu na period do 2020 roku* (Development strategy of railway transport till 2020 year). Available at: http://taxoport.com/files/docs/trans_strateg_2020.doc (Accessed 5 March 2013).
8. Fatkhutdinov R.A. *Upravleniye konkurentosposobnostyu organizatsii* [Management of competitiveness of the organization]. Moscow, Eksmo Publ., 2004. 544 p.
9. Eitutis H.D. Osnovni modeli upravlinnia zaliznytsiamy [Key management models of railways]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2007, no. 6 (65), pp. 24-25
10. José A. Gómez-Ibáñez. Railroad Reform: an overview of the options. Available at: http://www.hks.harvard.edu/var/ezp_site/storage/fckeditor/file/pdfs/centers-programs/centers/taubman/working_papers/gomezibanez_04_railway.pdf (Accessed 5 March 2013).

Стаття рекомендована до публікації д.е.н., проф. С. В. Каламбет (Україна); д.е.н., проф. Н. І. Верховлядовою (Україна)

Надійшла до редколегії 27.02.2013

Прийнята до друку 29.03.2013

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

UDC 621.225

A. F. GOLOVCHUK¹, K. V. PRIKHODKO^{1*}

¹Dep. «Heat engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 636 67 77, e-mail andriy@golovchuk.com.ua

^{1*}Dep. «Heat engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (093) 451 36 82, e-mail prikhodkov@i.ua

FREE-PISTON ENGINE-AND-HYDRAULIC PUMP FOR RAILWAY VEHICLES

Purpose. The development of the free-piston diesel engine-and-hydraulic pump for the continuously variable hydrostatical transmission of mobile power vehicles. **Methodology.** For a long time engine builders have been interesting in the problem of developing free piston engines, which have much bigger coefficient of efficiency (40...80%). Such engines don't have the conversion of reciprocating motion for inner combustion engine piston into rotating motion of crankshaft, from which the engine torque is transferred to the power machine transmission. Free-piston engines of inner combustion don't have the crank mechanism (CM) that significantly reduces mechanical losses for friction. Such engines can be used as compressors. Free-piston engine compressor (FPEC) – is a free-piston machine in which energy received from engine's cylinder is being transferred directly to compressor's pistons connected with operational pistons of engine without crank mechanism. Part of the pressed air is being consumed for engine cylinder drain and the other part is going to the consumer. **Findings.** The use of free-piston engines-and-hydraulic pumps as power-transmission plants of power vehicles (diesel locomotives, combine harvester, tractors, cars and other mobile and stationary power installations) with the continuously variable transmissions allows cost effectiveness improvement and metal consumption reduction of these vehicles, since the cost effectiveness of FPE is higher by 25-30 %, and the metal consumption is lower by 40-50 %. **Originality.** One of the important advantages of the free-piston engines is their simplicity and engine balance. As a result of the crank mechanism absence their construction is much simplified and the vibrations, peculiar to the ordinary engines are eliminated. In such installation the engine pistons are directly connected through the rod to compressor pistons and therefore there are no losses in the bearing bushes. **Practical value.** The free-piston engines are now used only as gas generators and diesel compressors, and the hydraulic transmission is arranged with the ordinary heat-engine, which operates the hydraulic pumps.

Keywords: free-piston engines; engine-and-hydraulic pump; hydrostatical transmission; crank mechanism; free-piston diesel hydraulic pump; engine-and-gas generator; hydraulic cylinder; hydraulic accumulator; power vehicles

Introduction

As a result of fuel price increase and the environmental situation deterioration one should pay special attention to the improvement of technical and economic, as well as dynamic and ecological characteristics of the inner combustion engines (ICE). In Ukraine the number of power vehicles

with diesel engines, used in different sectors of national economy increases each year. Diesel engines have higher technical and economic parameters as compared to the gasoline and gas-turbine engines. However, the improvement of technical and economic parameters and design of these engines is still an urgent issue.

Efficiency coefficient (EC) of the modern ICE

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

is relatively low: gasoline engines (0.25...0.32); diesel engines (0.33...0.42); gas engines (0.23...0.28). That's why development of the new heat engines design with better indicator and efficiency parameters is a crucial task. These basic parameters of ICE can be significantly increased by the reduction of mechanical losses. The main part of the losses are the friction losses (65...80 %) [1].

Analysis of schemes and designs of free-piston engines

For a long time engine builders have been interesting in the problem of developing free piston engines, which have much bigger coefficient of efficiency (40...80 %) [6]. Such engines don't have the conversion of reciprocating motion for inner combustion engine piston into rotating motion of crankshaft, from which the engine torque is transferred to the power machine transmission. Free-piston engines of inner combustion don't have the crank mechanism (CM) that significantly reduces mechanical losses for friction. Such engines can be used as compressors.

Free-piston engine-compressor is shown on Figure 1.

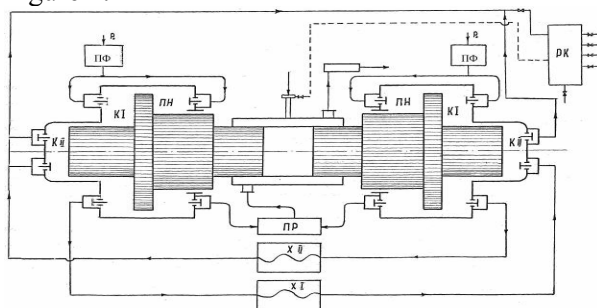


Fig.1. Free-piston engine-compressor:

ПФ – air filter; КІ – first stage of compressor;
КІІ – second stage of compressor; ПР – scavenging receiver; ПН – scavenging pump; X I та X II – fridges

Free-piston engine compressor (FPEC) – is a free-piston machine in which energy received from engine's cylinder is being transferred directly to compressor's pistons connected with operational pistons of engine without crank mechanism. Part of the pressed air is being consumed for engine cylinder drain and the other part is going to the consumer.

FPEC have small size and weight, easy and reliable start and are absolutely balanced (no need in

understructure). Expenses on 1 m³ of produced pressed air (or gas) in FPEC are in 1.5-2 times lower than expenses of powered compressors with equal productivity.

Actuating motor – is a gas-diesel with compression ignition. Material consumption of FPEC is in 3.8-6.5 times less than that of stationary electrically driven compressors and mobile compressors with an internal combustion engine [4].

Constructional diagram of free-piston engine-and-gas generator is shown on Figure 2.

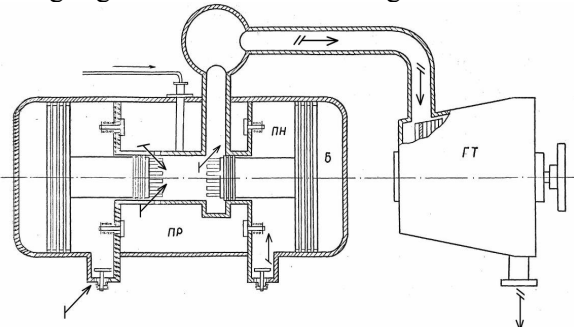


Fig.2. Free-piston engine-and-gas generator:

ПР – scavenging receiver; ПН – scavenging pump;
ГТ – gas turbine; Б – buffer cylinder;

— — fuel; — — air; — — air + gases.

Cylinder of the two-stroke diesel engine with uniflow scavenging is located in the center of the generator; the scavenging port is placed symmetrically relative to the center of diesel sleeve, where the liquid-propellant injector is placed. On both sides the diesel sleeve is directly connected to the piston compressor cylinders, provided by the sucking, air delivery and starting valves. One line of the scavenging ports through the space surrounding the diesel cylinder is connected to the air delivery valve and another line is connected to the pipeline, leading to the receiver and then to the gas turbine. The pistons of generator are double-staged: diesel pistons have smaller diameter and compressor ones have bigger diameter.

The generator's start-up is performed by means of the pressed air from outer source (pressure vessel, reservoir etc.). Pressed air throw the starting valves enters to external spaces of compressor cylinders and moves pistons to center of the engine, compressing the air firstly in the internal compressor spaces and then, when the diesel pistons shuts the scavenging ports, in the engine cylinder. At the end of motion the air pressed in compressors

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

through the air delivery valves fill the diesel cylinder. In the center of the diesel pressing is continued, i.e. of air pressure and temperature is increasing. When the temperature of the air exceeds the temperature of the fuel self-ignition, the fuel is injected through the nozzle. The fuel ignites and burns, the pressure rapidly increases and the power stroke starts. Mix of air and fuel combustion products is expanded and makes the pistons move to the different sides. Exhaustion appears in the inner compressor spaces, as result inlet valves are opened and the atmosphere air enters into the compressor. In the external compressor spaces the starting air compression takes place, i.e. air buffers are created. When the diesel pistons open the scavenging ports, combustion products are directed to the receiver and then to the gas turbine blades. Pistons are stopped by the compressed air pressure that makes them start backward running, restarting the operating stroke [3].

The free-piston inner combustion engine (FPICE) with hydraulic power transmission is shown on the Figure 3.

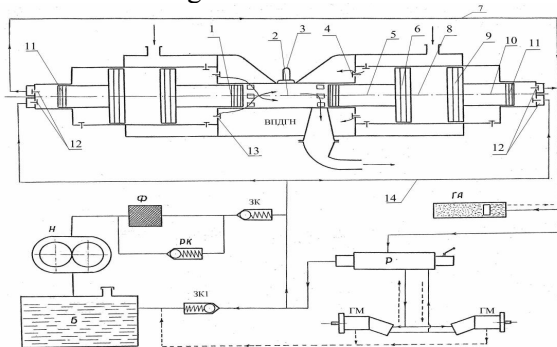


Fig.3. Free-piston inner combustion engine (FPICE) with hydraulic power transmission:

ВПДГН – free-piston diesel hydraulic pump; P – distributor; ГА – hydraulic accumulator; Б – tank of power fluid; Н – pump; Ф – filter; ЗК – stop valve; ПК – air reducing valve; ЗК1 – safety-valve; ГМ – hydraulic motor

The free-piston inner combustion engine (FPICE) with hydraulic power transmission has working cylinder 2 with inlet 4 and exhaust valves 13, nozzles 3, operating pistons 1 with the stocks 5, connected with buffer piston 6. The second buffer piston 9 moves in the buffer cylinder 8 and is connected with the piston of hydraulic pump 11 through the stock 10.

Free-piston diesel hydraulic pump has a system of hydraulic valves 12 and pipelines 14, connecting

with the main and secondary devices of the vehicle hydrostatic transmission (disturber; hydraulic accumulator; tank of power fluid; pump; filter; stop valve; air reducing valve; safety-valve; hydraulic motors). The pressure of the power fluid from hydraulic pump pistons 11 through the valves 12 is transferred to the motors of hydrostatical transmission of mobile power vehicle.

Development of free-piston inner combustion engine for hydraulic power transmission

Free-piston inner combustion engines with hydraulic power transmission have simplified construction; they are small due to refusing from crank mechanism, but they require the complex system of pistons movement synchronization. This disadvantage causes the absence of operating constructions of such engines with hydraulic power transmission.

Figure 4 shows a schematic diagram of the free-piston internal combustion engine (FPICE) with the starter [2, 9]. The free-piston inner combustion engine with the hydraulic starter has 4 cylinders 1, with inlet and exhaust valves, nozzles 3, and operational pistons 4 with stocks 5 and plungers 6, inlet and exhaust hydraulic valves 7, cylinders of starting system synchronization 8, 9, pipelines 13.

The starting mechanism of free-piston inner combustion engine consist of starter 19 with elastic clutch 18, clutch 20, connection lever of the clutch 17 with drive gear 16, crankshaft 15, gas distributor shaft gear of the FPICE systems and mechanisms, pistons 12, plungers 11 and shell cases 10.

The starting mechanism of the free-piston inner combustion engine operates as follows. At start of FPICE the starter 19 turns on, so the rotational moment through the elastic clutch 18 and the clutch 20 is transferred to the gear 16 that puts in the motion the crank-shaft 15. The crank mechanism of the FPICE starter sets the reciprocating motion to shell cases 10 plungers 11. Oil pipelines 21 are connected to the shell cases 10 of starting mechanism. By means of oil pipelines the power fluid pressure through the windows 22 is transferred to the cylinders 9, 8. In these cylinders 8, 9 the pressure is changed synchronous that provides work of the free-piston ICE.

The operating pistons 4 work synchronous due to hydraulic connection 23. Work of FPICE is similar

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

to the work of four-stroke combustion engine with corresponding mechanisms and systems.

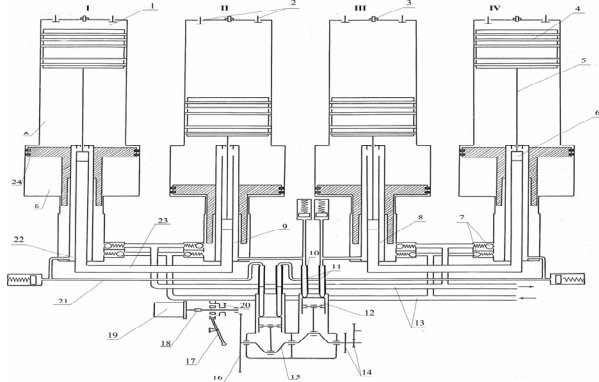


Fig.4. Free-piston inner combustion engine with hydraulic starter [2, 9]: 1 – cylinders; 2 – inlet and exhaust valves; 3 – nozzles; 4 – working pistons; 5 – stocks; 6 – plungers; 7 – exhaust and inlet hydraulic valves; 8, 9 – cylinders of starting system synchronization; 10 – shell cases; 11 – plungers; 12 – pistons; 13 – pipelines; 14 – gas distributor shaft gear of the FPICE systems and mechanisms; 15 – crankshaft of the starter; 16 – drive gear; 17 – connection lever of the clutch; 18 – elastic clutch; 19 – starter; 20 – clutch; 21 – oil pipelines; 22 – windows of piston synchronization system; 23 – hydraulic connection; 24 – pump piston; A, Б – capacity of gas drive-gear

The engine consists of four cylinders – I, II, III, and IV, in which the operating pistons 4 with piston rings and stocks 5 perform the reciprocating motion.

Plungers 6 of the hydraulic synchronization mechanism, installed in double-acting cylinders are fastened on the stocks.

Lower space of synchronization mechanism is connected with similar space of pair-connected cylinders (I with II and IV with III) by means of the oil pipeline 21.

Top space of the hydraulic cylinder synchronization mechanism is connected with the plunger 11 shell case 10 of crank mechanism 15 of the distributing shaft, ventilator and other auxiliary systems through the ring space between synchronization cylinder shell case and the lower pump body, and then through the starting oil pipeline

Gas piston 4 during operation of engine hydraulic pump makes reciprocating motion in the cylinder 1 and by means of stock 5 is connected with plunger 6 of synchronization system.

A-volume is located in cylinder between operating piston 4 and the piston 24. It creates the inter-

piston space of gas shaft and is used for force transfer from piston 1 to gas piston 24. The lower part of piston 24 is used as hydraulic pump, which through the valves 7 forces the power fluid into the hydrostatical transmission of power vehicle. Stroke of gas-oil piston 24 depends on pressure of the power fluid forcing.

B-volume under the gas piston is used for returning of the gas-oil piston 24 in initial position. During this operation, the volume vacated by the pump piston is filled by the power fluid, which comes from the hydraulic transmission line throw the inlet valves 7.

During the lowering piston movement 24 the volume of power fluid through the air delivery valves 7 gets into the high-pressure line 13 of hydraulic system transmission and moves to hydraulic motors of the locomotive.

The use of the free-piston engines-hydraulic pumps as the power-transmission plants of power vehicles (diesel locomotives, combine harvester, tractors, automobiles and other mobile and stationary power installations) with the continuously variable transmissions allows cost effectiveness improvement and reduction in metal consumption of these vehicles, since the FPE cost effectiveness is higher by 25-30%, and metal consumption is lower by 40-50% in comparison with those of the modern diesels. Free-piston combustion engine developed by the authors can be used for hydrostatic power transfer for power vehicles on railway transport.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автомобільні двигуни : підручник / Ф. І. Абрамчук, Ю. Ф. Гутаревич, К. Є. Долганов, І. І.Тимченко. – К. : Арістей, 2004. – 476 с.
2. Головчук, А. Ф. Вільнопоршневий двигун внутрішнього згоряння [Електронний ресурс] / А. Ф. Головчук – Режим доступу: <http://golovchuk.com.ua/ua/inventions/vlnoporshnevij-dvigun-vnutrshnogo-zgoryannya.html>. – Назва з екрану.
3. Жуков, В. С. Газотурбинные установки со свободно-поршневыми генераторами газа в энергетике / В. С. Жуков. – М. : Энергетика, 1971. – 72 с.
4. Комплексное решение проблем энергоэффективности и экологической безопасности двигателей [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.ekip.pro/21/dvig.shtml>. – Загл. с экрана.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

5. Пат. 2298691 Россия, МПК F04B31/00, F02B71/06. Свободнопоршневой газогенератор / Игошин В. И. (Россия) ; заявитель и патентообладатель Игошин В. И. – № 2005141355/06 ; заявл. 29.12.2005 ; опубл. 29.12.2005, Бюл. № 17. – 4 с.
6. Пат. 2116477 Россия, МПК F02B71/06. Свободнопоршневой генератор газа / Ротко А. Н., Стукалов А. И., Белогуров А. И. (Россия) ; заявители и патентообладатели Ротко А. Н., Стукалов А. И., Белогуров А. И. – № 96104044/06 ; заявл. 29.02.1996 ; опубл. 27.07.98, Бюл. № 30. – 2 с.
7. Пат. 2445479 Россия, МПК F02B71/00. Свободнопоршневой двигатель / Горшков А. А. (Россия) ; заявитель и патентообладатель Горшков А. А. – № 2008102344/06 ; заявл. 21.01.2008 ; опубл. 27.07.09, Бюл. № 21. – 17 с.
8. Пат. 2186231 Россия, МПК F02B71/04. Свободнопоршневой двигатель / Елагин А. Л., Орлов П. П., Лунев Р. К., Погребинский З. Б. (Россия) ; заявитель и патентообладатель Дальневосточный государственный университет путей сообщения. – № 2000105530/06 ; заявл. 06.03.2000 ; опубл. 27.07.02, Бюл. № 23. – 6 с.
9. Пат. 97336 Украина, МПК F02B 71/00, F02N 7/00. Вільнопоршневий двигун внутрішнього згоряння / Головчук А. Ф. (Україна) ; заявник та патентовласник Уманський національний університет садівництва. – № а 2011 05183 ; заявл. 26.04.2011 ; опубл. 25.01.12, Бюл. № 2. – 2 с.
10. Aichlmayr, H. T. Design Considerations, Modeling, and Analysis of Micro-Homogeneous Charge Compression Ignition Combustion Free-Piston Engines : Thesis....PhD / Hans Thomas Aichlmayr ; University of Minnesota. – Minnesota, 2002. – 224 p.
11. First cycles of the dual hydraulic free piston engine / S. Tikkanen, M. Lammila, M. Herranen, M. Vilenius // SAE Paper. – 2000. – № 10. – P. 1–2546.
12. Hibi, A. Fundamental test results of a hydraulic free piston internal combustion engine / A. Hibi, T. Ito // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D, Journal of automobile engineering. – 2004. – Vol. 218. – № 10. – P. 1149–1157.
13. Thermohydraulische Freikolbenmaschine als Primäraggregate für mobilhydraulische Antriebe / H. Brunner, A. Winger, A. Feuser, J. Dantlgraber, R. Schäffer // Intelligent Solutions by Fluid Power : 4th Int. Fluid Power Conference. – Dresden : Dresden Institut für Verarbeitungsmaschinen und Mobile Arbeitsmaschinen, 2004. – P. 12.
14. Uludogan, A. Modeling the effect of engine speed on the combustion process and emissions in a DI Diesel engine / A. Uludogan, D. E. Foster, R. D. Reitz // SAE Paper. – 1996. – № 962056 – P. 93–102.
15. Van Blarigan, P. Advanced Internal Combustion Electrical Generator / Peter van Blarigan // Proc. 2002 U.S. DOE Hydrogen Program Review. – Livermore : Sandia National Laboratories, 2002. – 16 p.

А. Ф. ГОЛОВЧУК¹, К. В. ПРИХОДЬКО^{1*}

¹Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 636 67 77, эл. почта andriy@golovchuk.com.ua

^{1*}Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (093) 451 36 82, эл. почта prihodkov@i.ua

СВОБОДНОПОРШНЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ-ГИДРОНАСОС ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Цель. Разработать свободнопоршневой дизельный двигатель-гидронасос для бесступенчатой гидростатической трансмиссии мобильного энергетического средства. **Методика.** Двигателестроителей давно интересует проблема создания свободнопоршневых двигателей, которые имеют значительно больший КПД (40...80 %). В таких двигателях нет превращения возвратно-поступательного движения поршня ДВС во вращательное движение коленчатого вала, от которого крутящий момент двигателя передается трансмиссии энергетической машины. Свободнопоршневые двигатели внутреннего сгорания не имеют кривошипно-шатунного механизма (КШМ), что существенно уменьшает механические потери на трение. Такие двигатели используются в качестве компрессоров. Свободнопоршневой двигатель-компрессор (СПДК) – свободнопоршневая машина, в которой энергия, получаемая в цилиндре двигателя, непосредственно отдается поршням компрессора, связанным с рабочими поршнями двигателя без кривошипно-шатунного механизма. Часть сжатого воздуха расходуется на продувку цилиндра, а другая большая часть сжатого воздуха поступает к потребителю. **Результаты.** Использование свободнопоршневых двигателей гидронасосов в качестве

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

силових агрегатів енергетических средств (тепловозов, комбайнов, тракторів, автомобілей і других мобільних і стаціонарних енергоустановок) с бесступенчатой передачею дозволяє підвищити економічність і знизити металоемність цих средств, так що економічність КПД є вищою, ніж економічність сучасних дизелів на 25-30 %, а металоемність – нижче на 40-50%. **Наукова новизна.** Одним з важливих переваг вільнопоршневих двигунів є їх простота і повна зрівноваженість. Внаслідок відсутності кривошипно-шатунного механізму значно спрощується їх конструкція і ліквідуються вібрації, властиві звичайним двигунам. В такій установці поршні двигуна безпосередньо з'єднані через шток з поршнями компресора, і тому втрадиції відсутні. **Практична значимість.** Вільнопоршневий двигун поки що використовується тільки як генератор газів та дизель-компресор, а гідрооб'ємна передача сьогодні компонується зі звичайним тепловим двигуном, який приводить в рух гідронасос.

Ключові слова: вільнопоршневий двигун; двигун-гідронасос; гідростатична трансмісія; кривошипно-шатунний механізм; вільнопоршневий дизель-гідронасос; двигун-генератор газу; гідроциліндр; гідроаккумулятор; енергетическі средства

А. Ф. ГОЛОВЧУК¹, К. В. ПРИХОДЬКО^{1*}

¹Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 636 67 77, ел. пошта andriy@golovchuk.com.ua

^{1*}Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (093) 451 36 82, ел. пошта prihodkov@i.ua

ВІЛЬНОПОРШНЕВИЙ ДВИГУН-ГІДРОНАСОС ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Мета. Розробити вільнопоршневий дизельний двигун-гідронасос для безступеневої гідростатичної трансмісії мобільного енергетичного засобу. **Методика.** Двигунобудівників давно цікавить проблема створення вільнопоршневих двигунів, які мають значно більший ККД (40...80 %). У таких двигунів немає перетворення зворотно-поступального руху поршня ДВЗ в обертовий рух колінчастого вала, від якого крутящий момент двигуна передається до трансмісії енергетичної машини. Вільнопоршневий двигун внутрішнього згоряння не має кривошипно-шатунного механізму (КШМ), що суттєво зменшує механічні втрати на тертя. Такі двигуни використовуються в якості компресорів. Вільнопоршневий двигун-компресор (ВПДК) – вільнопоршнева машина, в якій енергія, що отримується в циліндрі двигуна, безпосередньо віддається поршням компресора, пов'язаним із робочими поршнями двигуна без кривошипно-шатунного механізму. Частина стисненого повітря витрачається на продування циліндра двигуна, а інша більша частина стисненого повітря поступає до споживача. **Результати.** Використання вільнопоршневих двигунів гідронасосів у якості силових агрегатів енергетичних засобів (тепловозів, комбайнів, тракторів, автомобілів та інших мобільних і стаціонарних енергоустановок) з безступеневими передачами дозволяє підвищити економічність та знизити металоемність цих засобів тому, що економічність ВПД є вищою економічність сучасних дизелів на 25-30 %, а металоемність – нижчою на 40-50 %. **Наукова новизна.** Однією з важливих переваг вільнопоршневих двигунів є їх простота і повна зрівноваженість. Внаслідок відсутності кривошипно-шатунного механізму значно спрощується їх конструкція і ліквідуються вібрації, властиві звичайним двигунам. У такій установці поршні двигуна безпосередньо з'єднані через шток із поршнями компресора, і тому втрати у підшипниках відсутні. **Практична значимість.** Вільнопоршневий двигун поки що використовується тільки як генератор газів та дизель-компресор, а гідрооб'ємна передача сьогодні компонується зі звичайним тепловим двигуном, який приводить в рух гідронасос.

Ключові слова: вільнопоршневий двигун; двигун-гідронасос; гідростатична трансмісія; кривошипно-шатунний механізм; вільнопоршневий дизель-гідронасос; двигун-генератор газу; гідроциліндр; гідроаккумулятор; енергетичні засоби

REFERENCES

1. Abramchuk F.I., Hutarevych Yu.F., Dolhanov K.Ye., Tymchenko I.I. Avtomobilni dvyhuny [Automobile engines]. Kyiv, Aristey Publ., 2004. 476p.
2. Golovchuk A.F. Vlnoporshneyi dvyhun vnutrishnoho zghoriannia (Free-piston engine of inner combustion) Available at: <http://golovchuk.com.ua/ua/inventions/vlnoporshnevij-dvigun-vnutrshnogo-zgoryannya.html> (Accessed 18 March 2013).
3. Zhukov V.S. Gazoturbinnyye ustanovki so svobodno-porshnevymi generatorami gaza v energetike [Gas turbine plants with the free-piston gas generators]. Moscow, Energetika Publ., 1971. 72 p.
4. Kompleksnoye resheniye problem energoeffektivnosti i ekologicheskoy bezopasnosti dvigateley (Complex solution of the power efficiency and environmental safety problems of the engines) Available at: <http://www.ekip.pro/21/dvig.shtml> (Accessed 18 March 2013).
5. Igoshin V.I. Svobodnoporshnevoy gazogenerator [Free piston gas generator]. Patent RF, no. 2005141355/06, 2005.
6. Rotko A.N., Stukalov A.I., Belogurov A.I. Svobodnoporshnevoy generator gaza [Free-piston gas generator]. Patent RF no. 96104044/06, 1996.
7. Gorshkov A.A. Svobodnoporshnevoy dvigatel [Free piston engine]. Patent RF, no. 2008102344/06, 2008.
8. Yelagin A.L., Orlov P.P., Lunev R.K., Pogrebinskiy Z.B. Svobodnoporshnevoy dvigatel [Free piston engine]. Patent RF, no. 2000105530/06, 2000.
9. Golovchuk A.F. Vlnoporshneyi dvyhun vnutrishnoho zghoriannia [Free-piston engine of inner combustion]. Patent UA, no. a 2011 05183, 2011.
10. Aichlmayr H.T. Design Considerations, Modeling, and Analysis of Micro-Homogeneous Charge Compression Ignition Combustion Free-Piston Engines. PhD thesis]. Minnesota, University of Minnesota Publ., 2002. 224 p.
11. Tikkanen S., Lammila M., Herranen M., Vilenius M. First cycles of the dual hydraulic free piston engine. SAE Paper, 2000, no. 10, pp. 1-2546.
12. Hibi A., Ito T. Fundamental test results of a hydraulic free piston internal combustion engine. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D, Journal of automobile engineering, 2004, vol. 218, no. 10, pp. 1149-1157.
13. Brunner H., Winger A., Feuser A., Dantlgraber J., Schäffer R. Thermohydraulische Freikolbenmaschine als Primäraggregate für mobilhydraulische Antriebe. 4th Int. Fluid Power Conference "Intelligent Solutions by Fluid Power". Dresden, 2004, P. 12.
14. Uludogan A., Foster D.E., Reitz R.D. Modeling the effect of engine speed on the combustion process and emissions in a DI Diesel engine. SAE Paper, 1996, no. 962056, pp. 93-102.
15. Peter van Blarigan. Advanced Internal Combustion Electrical Generator. Proc. 2002 U.S. DOE Hydrogen Program Review. Livermore, 2002, 16 p.

Prof. V. O. Gabrinets, D. Sc. (Tech); Prof. V. G. Zarenbin D. Sc. (Tech) recommended this article to be published

Надійшла до редколегії 05.03.2013

Прийнята до друку 04.04.2013

УДК 621.333:621.318.3

Т. М. МІЩЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (097) 485 68 21, ел. пошта mishchenko_tn@ukr.net

МЕТОДИ АНАЛІЗУ СТОХАСТИЧНИХ ПЕРЕХІДНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ

Мета. Викладено сутності та основні характеристики методів розрахунку перехідних електромагнітних процесів в елементах і пристроях нелінійних динамічних систем електричної тяги з урахуванням стохастичного характеру зміни напруг і струмів в тягових мережах підсистеми електропостачання і в силових колах електрорухомого складу. **Методика.** Дослідження виконано за класичними методами і методиками нелінійної електротехніки і теорії ймовірностей, зокрема, за методиками застосування стаціонарних ергодичних і нестаціонарних випадкових процесів. **Результати.** Користуючись викладеними методами, представлено схему заміщення і систему нелінійних інтегро-диференціальних рівнянь електромагнітного стану двоколісної міжпідстанційної зони системи електричної тяги змінного струму; їх розрахунки дозволяють отримати електротягове струмозподілення на ділянках фідерних зон. **Наукова новизна.** З наукової точки зору робота цікава і важлива, по-перше, тим, що методи дозволяють врахувати імовірнісний характер зміни тягових напруг і струмів системи електротяги. По-друге, проведені дослідження дозволяють створити найбільш ефективний метод аналізу нелінійних кіл. **Практична значимість.** Практична цінність даного дослідження полягає у застосуванні викладених методів до аналізу електромагнітних та електроенергетичних процесів у системі тягового електропостачання у випадках швидкісного руху поїздів.

Ключові слова: аналітичні методи моделювання; електромагнітні процеси; нелінійна динамічна система; електрифікована ділянка; перехідні режими; електровози

Вступ

Однією з проблем в системах електричної тяги, яка до теперішнього часу практично не вирішувалась, є дослідження перехідних електромагнітних, особливо аварійних, процесів при наявності на фідерній зоні декількох поїздів, тобто декількох одиниць електрорухомого складу (ЕРС), що є реальною ситуацією в графіці руху поїздів. Особливо це типово для швидкісного і високошвидкісного рухів з їх пакетними графіками проходження поїздів. Завдання ускладнюється тим, якщо, по-перше, необхідно врахувати вплив декількох ЕРС, ведучих поїзди і по другій колії міжпідстанційної зони і, по-друге, якщо електровози, обладнані асинхронним приводом (типу ДС 3), мають тим самим схемотехніку значно складнішу, ніж у існуючих випрямних електровозів серії ВЛ 60 і ВЛ 80.

Мета і задачі досліджень

Метою роботи є викладення сутності та основних характеристик методів розрахунку перехідних електромагнітних процесів в нелі-

нійних силових колах систем електричної тяги з урахуванням випадкового характеру змінних напруг і струмів.

Для дослідження поставленої мети потрібно вирішити такі задачі:

- 1) виконати систематизацію існуючих методів нелінійної електротехніки;
- 2) проаналізувати ступінь нелінійності елементів пристроїв тягового електропостачання та електрорухомого складу;
- 3) встановити характер стохастичної зміни процесів тягових напруг і струмів (стаціонарність, ергодичність, нестаціонарність);
- 4) викласти сутність, переваги та недоліки методів лінеаризації;
- 5) викласти сутність та основні характеристики методів, що засновані на безпосередньому інтегруванні нелінійних інтегро-диференціальних рядів;
- 6) зробити висновок відносно можливості визначення за допомогою розглянутих методів законів розподілення напруг і струмів в нелінійних тягових колах.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Методи і методики аналізу

Дослідження виконано на основі методів і методик нелінійної електротехніки та теорії випадкових процесів. Схема заміщення складена для двоколіїної міжпідстанційної зони з двостороннім живленням.

Задача аналізу електромагнітних процесів в системі електротяги зводиться до того, що за заданими імовірнісними характеристиками випадкових величин параметрів кола системи електротяги і ЕРС тягового трансформатора необхідно визначити імовірнісні характеристики фідерних струмів і струмозподілення між поїздами в різних режимах. Тобто, при дослідженнях перехідних електромагнітних процесів в системах електричної тяги необхідно розв'язувати задачі статистичної динаміки нелінійних систем. Для розв'язання таких задач у теперішній час у математиці поки що не існує точних аналітичних методів навіть для детермінованих вхідних дій, а при випадковій вхідній дії труднощі зростають у багато разів [2, 3, 5, 6, 10, 11, 14, 15]. Тому для розв'язання поставленої задачі треба застосовувати наближені методи, основні з яких приведені нижче.

1. Методи «звичайної» (простої) лінеаризації. У випадку, коли дисперсія значень параметрів вузька, тобто, коли елементи системи є не суттєво нелінійними, і перша похідна вхідної дії до системи достатньо мала за модулем, тоді застосовують методи «звичайної» лінеаризації характеристик нелінійних елементів системи [14, 15]. Він полягає у тому, що спочатку знаходять розв'язання нелінійного диференціального рівняння при відсутності малої випадкової дії, а потім рівняння лінеаризують відносно малих випадкових відхилень ΔI шуканої випадкової величини, наприклад, струму $I(t)$ процесу, від збурених значень параметрів. Нелінійними членами, які містять ці випадкові відхилення, нехтують. У результаті для випадкових відхилень утворюється лінійне диференціальне рівняння, яке розв'язують відомими методами. Далі знаходять імовірнісні характеристики для ΔI з наступним переходом до імовірнісних характеристик вихідного процесу $I(t)$.

Метод лінеаризації дозволяє значно просте визначення математичного сподівання та кореляційної функції шуканого процесу $I(t)$ в стаціо-

нарному та нестационарному режимах. Однак при негаусовому збуренні дуже складно (наприклад, методом визначення моментів) знайти навіть одномірну густину імовірності для $I(t)$.

2. Методи стохастичної лінеаризації. Для нелінійних систем, які містять суттєво нелінійні елементи, імовірнісні характеристики принципово не можуть бути лінеаризовані, тому що немає простого зв'язку між математичними очікуваннями і відповідно кореляційними функціями вхідної дії та вихідних величин $I(t)$. В цих задачах доцільним і єдино можливим є застосування інших методів, ніж методів простої лінеаризації і, зокрема, методу статистичної лінеаризації [3, 6, 11–13]. В основі цього методу лежить ідея такої лінеаризації характеристик нелінійних елементів системи, при якій статистичні характеристики (математичне очікування і кореляційна функція) вихідних величин $I_k(t)$ співпадали б з аналогічними імовірнісними характеристиками нелінійних елементів або були б найбільш близькі до них. Тоді для визначення випадкової функції $I(t)$ на виході системи формально маємо лінеаризовані рівняння, для розв'язання яких можливо застосування апарату лінійної теорії. А поєднання використання коефіцієнтів статистичної лінеаризації для нелінійних елементів і методу Дункана [13, 18] призводить до найбільш простого і закінченого розв'язання задачі визначення перших двох статистичних моментів шуканих величин $I_i(t)$.

Практика застосування методу статистичної лінеаризації показує, що він найбільш ефективний, простий і знаходить широке використання при аналізі простих систем, причому в усталеному режимі їх роботи [6, 12]. При дослідженнях складних систем [7] він громіздкий, а, головне, при розв'язанні деяких задач метод дає не тільки великі помилки, але й якісно невірні результати [12]. Крім цього, метод статистичної лінеаризації передбачає наперед визначену густину імовірності вихідного процесу за нормальним законом. Але, як доводять автори [3], у складних динамічних системах, що містять, як правило, інерційні нелінійні елементи, функцію розподілення густини імовірності вихідного процесу можна приблизно вважати за законом Гаусса; спрощує цю проблему також застосування перетворення Гільберта [19].

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Для аналізу складних систем більш застосовані методи, що засновані на безпосередньому інтегруванні нелінійних інтегро-диференціальних рівнянь, які описують стан системи, і, перш за все, метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло) і метод еквівалентних збурень (метод не випадкових дій).

3. Метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло). Суть цього методу [6, 12, 13] зводиться до введення випадкових реалізацій вхідних випадкових функцій або параметрів на відповідні входи досліджуваної системи. На кожен із входів системи при одному випробуванні повинна бути подана одна реалізація вхідного збурення, при цьому буде отримана реалізація кожної з вихідних величин. Повторюючи подібні випробування багато разів, отримаємо для кожної з вихідних величин сукупність реалізацій. Піддаючи далі ці сукупності статистичній обробці, визначаємо закони розподілу вихідних величин або, що простіше, окремі характеристики цих законів. Для відтворення та введення вхідних збурень разом із використанням реальних записів їх реалізацій застосовується фізичне або математичне моделювання випадкових функцій і параметрів. Очевидними достоїнствами цього методу є універсальність і простота. Разом із тим недоліком методу статистичних випробувань є необхідність накопичення великих масивів вихідних величин системи, що пов'язане з виконанням значного об'єму обчислень. Для того, щоб отримати закони розподілу вихідних величин системи або хоч би їх окремі характеристики з прийнятою для практики точністю, потрібно обчислити сотні і навіть тисячі значень цих величин. Тобто, метод об'ємний і трудомісткий, оскільки приходится багаторазово чисельно інтегрувати систему диференціальних рівнянь для різних варіантів значень вхідних випадкових величин із подальшою статистичною обробкою отриманих реалізацій шуканих величин.

4. Метод еквівалентних збурень (метод не випадкових дій). Суть цього методу зводиться до того, що замість випадкових реалізацій параметрів, які використовуються в методі статистичних випробувань, заздалегідь розраховують $\xi_{js} (j = 1, 2, \dots, m; s = 1, 2, \dots, N)$ не випадкових величин, так звані еквівалентні збурення [6, 13]. Останні вводяться на відповідні входи досліджуваної нелінійної системи, при цьому шляхом обчислень або моделювання визнача-

ють деякі значення Y_s вихідної величини. З величин Y_s формують шукані імовірнісні характеристики величини Y .

Очевидно, що основною задачею, яка виникає в методах еквівалентних збурень, є таке визначення величин, при яких забезпечувалася би простота обчислення шуканих вірогідних характеристик вихідних величин системи, і була б потрібна порівняно невелика кількість розв'язків рівнянь досліджуваної системи. Складною проблемою в методі еквівалентних збурень є оцінка точності результату, оскільки, зазвичай, в реальних задачах заздалегідь невідомо, якого ступеню поліном з достатньою точністю апроксимує залежність шуканої величини від випадкових параметрів. Тому ступінь апроксимуючого полінома доводиться вибирати переважно емпірично, шляхом проб і порівнянь результатів між собою.

Слід відмітити, що за трудомісткістю при малих значеннях параметру переважає метод еквівалентних збурень, а при великих значеннях – метод Монте-Карло.

5. Метод марковських процесів. Якщо вхідна дія $U(t)$ являє собою гаусовий процес великої інтенсивності, то можливо застосування методу марківських процесів [12, 14]. Зокрема, для аналізу поведінки динамічних систем з марковським вихідним процесом можливо застосувати рівняння Фоккера–Планка–Колмогорова. Метод марківських процесів навіть у суттєво нелінійних задачах принципово дозволяє знаходити густину імовірності вихідного процесу $I(t)$. Однак існує складність фактичного отримання розв'язку цим методом для конкретної задачі, яка суттєво залежить від порядку диференціального рівняння, що описує поведінку системи, виду початкових і граничних умов. Крім цього, метод марковських процесів застосовується лише, якщо зовнішня дія некорельована. Строго кажучи, жоден із реальних процесів суттєво нелінійної динамічної системи не є марковським, тому розглянутий метод дає дуже наближений розв'язок.

6. Квазістатичний метод. У деяких задачах можливе зведення інерційного нелінійного елемента до безінерційного, і тоді обмежуються розв'язанням у квазістатичному наближенні, тобто, так званім, квазістатичним методом [12, 14, 15]. Останній характеризується тим, що в першому наближенні нехтують часовою

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

похідною в диференціальному рівнянні системи. Після чого задача зводиться до розв'язання нелінійного рівняння з безінерційним елементом. У цьому методі також передбачається, що зовнішня випадкова дія змінюється настільки повільно, що система безінерційно відслідковує її.

7. Методи функціональних рядів [2, 4, 12, 14, 15]. Певний практичний інтерес представляє метод функціональних рядів. Ідея методу полягає в представленні функції густини імовірності вихідного процесу у вигляді ряду з ортогональними поліномами з наступним розв'язанням задачі за допомогою цих рядів. У вигляді найбільш практично застосовуваних рядів слід назвати: ряд Грам-Шарл'є з поліномами Ерміта; ряд Юнга [2, 4]; асиметричне гаусове розподілення за Бернштейном [1]; ряд Хаара [9] та ін. Метод призводить до достатньо громіздких алгоритмів обчислення коефіцієнтів розкладання. Однак у деяких окремих задачах, які мають практичне застосування, можливі значні спрощення. Складним питанням залишається оцінка збіжності зазначених рядів [14, 15].

При розв'язанні багатьох нелінійних задач у випадку, коли диференціальні рівняння містять випадкові функції, потрібно будувати (або розкладати) реалізації цих функцій (найчастіше, напругу $U(t)$ чи е.р.с. $E(t)$) за відомими їх імовірнісними характеристиками. Найчастіше цю проблему вирішують шляхом представлення випадкової функції у формі детермінованих функцій випадкових величин. Підставою для такої заміни є теорема, що передбачає для будь-якої випадкової функції, неперервної в інтервалі (a, b) , справедливе розкладання [12]:

$$X(t) = \bar{x}(t) + \sum_{j=1}^{\infty} V_j \frac{\varphi_j(t)}{\sqrt{\lambda_j}},$$

де V_j – взаємно некорельовані випадкові величини, що володіють нульовими математичними очікуваннями і одиничними дисперсіями;

λ_j і $\varphi_j(t)$ – власні числа і власні функції

інтегрального рівняння: $\varphi_j(t) = \int_a^b K_x(t, \tau) \varphi_j(\tau) d\tau$.

Також застосовують представлення за методом Карунена, Котельникова і за допомогою узагальнених рядів Фур'є [17] або канонічних розкладань Пугачова [6]. В останні роки най-

більш поширеним є інтерполяційний метод неканонічних розкладань за методом Доступова [3] або за методом Чернецького [17]. Порівняльна характеристика цих методів розкладання докладно подана в [17, с. 142].

Насамкінець треба зауважити, що складність розрахунку стохастичних перехідних процесів у нелінійних динамічних системах (виду електротяги) за допомогою навіть викладених вище методів змушує дослідників нерідко відмовлятися від визначення законів розподілення вихідних величин та обмежуватися розрахунками лише перших декількох моментів їх функцій розподілення, тобто знаходити лише моментні функції, які в багатьох практичних випадках дають достатньо повне, в ряді випадків навіть вичерпне, уявлення про досліджуваний випадковий процес.

Результати застосування методів

На рис. 1 у якості прикладу, приведена схема двостороннього живлення міжпідстанційної двоколіїної зони, в якій три поїзди рухаються в одному напрямку, а два – в протилежному. Поїзди ведуть електровози, схеми заміщення яких прийняті згідно з дослідженнями, приведеними в роботі [8].

Як випливає із рис. 1, нелінійна динамічна система електричної тяги схемотехнічно містить нелінійні як безінерційні (активні), так і інерційні (реактивні), до того ж параметричні, елементи, які є випадковими величинами, а вхідна дія, тобто ЕРС фази тягового трансформатора на тяговій підстанції або її вихідна напруга, являється випадковою функцією. Тому електромагнітні процеси в такій динамічній системі описуються складною (навіть без врахування явища взаємодукції між контурами системи кола) системою стохастичних нелінійних диференціальних рівнянь, наприклад, для схеми рис. 1, вигляду:

$$i_{t1} - i_{t2} - i_1 = 0, \quad (1)$$

$$i_{t2} - i_{t3} - i_2 = 0, \quad (2)$$

$$i_{t3} - i_{t0} - i_3 = 0, \quad (3)$$

$$i_{t4} - i_{t5} - i_4 = 0, \quad (4)$$

$$i_{t5} - i_{t6} - i_5 = 0, \quad (5)$$

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

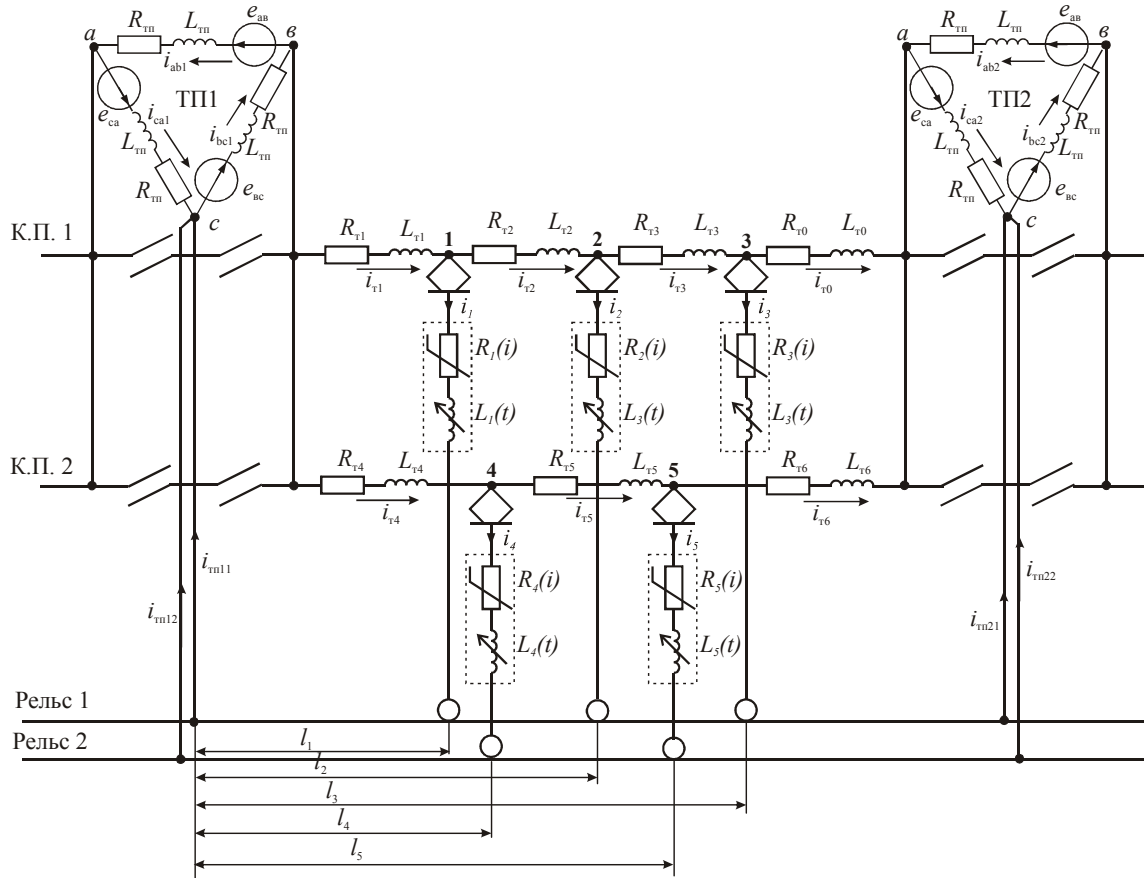


Рис.1

$$-i_{ab1} + i_{bc1} - i_{r1} - i_{r4} = 0, \quad (6)$$

$$-i_{bn1} + i_{ca1} + i_{\delta 1} = 0, \quad (7)$$

$$-i_{ab2} - i_{ca2} + i_{r0} + i_{r6} = 0, \quad (8)$$

$$-i_{bn2} + i_{ca2} + i_{\delta 2} = 0, \quad (9)$$

$$R_{rn} i_{bc1} + L_{rn} \frac{di_{bc1}}{dt} + R_{r1} i_{r1} + L_{r1} \frac{di_{r1}}{dt} + \\ + R_1(i) i_1 + L_1(t) \frac{di_1}{dt} = e_{bc}(t), \quad (10)$$

$$-R_1(i) i_1 - L_1(t) \frac{di_1}{dt} + R_{r2} i_{r2} + L_{r2} \frac{di_{r2}}{dt} + \\ + R_2(i) i_2 + L_2(t) \frac{di_2}{dt} = 0, \quad (11)$$

$$-R_2(i) i_2 - L_2(t) \frac{di_2}{dt} + R_{r3} i_{r3} + L_{r3} \frac{di_{r3}}{dt} + \\ + R_3(i) i_3 + L_3(t) \frac{di_3}{dt} = 0, \quad (12)$$

$$R_{r0} i_{r0} + L_{r0} \frac{di_{r0}}{dt} + R_{rn} i_{ca2} + L_{rn} \frac{di_{ca2}}{dt} - \\ - R_3(i) i_3 - L_3(t) \frac{di_3}{dt} = e_{ca}(t), \quad (13)$$

$$R_{r4} i_{r4} - L_{r4} \frac{di_{r4}}{dt} + R_4(i) i_4 + L_4(t) \frac{di_4}{dt} - R_{rn} i_{ca1} - \\ - L_{rn} \frac{di_{ca1}}{dt} - R_{rn} i_{ab1} - L_{rn} \frac{di_{ab1}}{dt} = -e_{ca2}(t) - e_{ab2}(t), \quad (14)$$

$$-R_4(i) i_4 - L_4(t) \frac{di_{r4}}{dt} + R_{r5} i_{r5} + L_{r5} \frac{di_{r5}}{dt} + \\ + R_5(i) i_5 + L_5(t) \frac{di_5}{dt} = 0, \quad (15)$$

$$-R_5(i) i_5 - L_5(t) \frac{di_5}{dt} + R_{r6} i_{r6} + L_{r6} \frac{di_{r6}}{dt} - R_{rn} i_{ab2} - \\ - L_{rn} \frac{di_{ab2}}{dt} - R_{rn} i_{bc2} - L_{rn} \frac{di_{bc2}}{dt} = -e_{ab}(t) - e_{bc}(t). \quad (16)$$

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Наукова новизна та практична цінність

В класичній нелінійній електротехніці, на відміну від лінійної, відсутній універсальний потужний метод розрахунку нелінійних кіл при довільних, особливо випадкових, електричних величинах. Тому до наукової новизни цієї роботи треба віднести, по-перше, врахування в розглянутих методах стохастичного характеру зміни напруг і струмів в елементах систем електричної тяги. По-друге, не менш важливим, з наукової точки зору, є докладний аналіз викладених методів відносно їх переваг та недоліків, що характеризує ступінь практичної цінності їх застосування для аналізу перехідних електромагнітних процесів в системі електричного транспорту.

Висновки

1. Кожний із розглянутих імовірнісних методів володіє певними своїми перевагами і недоліками, тому не слід шукати загальний метод аналізу, а для розв'язання конкретної задачі необхідно вибрати чи розробити свій найбільш ефективний метод розрахунку електромагнітних процесів.

2. Представлення вхідних до досліджуваної нелінійної системи випадкових функцій у формі детермінованих функцій випадкових величин доцільно здійснювати як у вигляді канонічних, так і неканонічних розкладань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бернштейн, С. Н. Собрание сочинений. Том IV. Теория вероятностей. Математическая статистика / С. Н. Бернштейн. – М. : Наука, 1964. – 577 с.
- Дёч, Р. Нелинейные преобразования случайных процессов / Р. Дёч. – М. : Советское радио, 1965. – 206 с.
- Казаков, И. Е. Статистическая динамика нелинейных автоматических систем / И. Е. Казаков, Б. Г. Доступов – М. : Гос. изд. физ.-мат. лит-ры, 1962. – 331 с.
- Казаков, И. Е. Статистическая динамика систем с переменной структурой / И.Е. Казаков. – М. : Наука, 1977. – 416 с.
- Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б. Р. Левин. – М. : Радио и связь, 1989. – 666 с.
- Лившиц, Н. А. Вероятностный анализ систем автоматического управления : в 2 т. / Н. А. Лившиц, В. Н. Пугачёв. – М. : Советское радио, 1963. – 2 т.
- Мищенко, Т. М. Підвищення ефективності роботи системи захисту силових кіл електровозу ДЕ 1 на основі досліджень перехідних аварійних електромагнітних процесів : дис. ... к. т. н. / Мищенко Тетяна Миколаївна ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – 212 с.
- Мищенко, Т. М. Теоретичні аспекти та методи ідентифікації параметрів пристроїв системи електричної тяги. Метод миттєвих потужностей; послідовне з'єднання елементів / Т. М. Мищенко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 121–126.
- Переверзев, Е. С. Испытания и надёжность технических систем / Е. С. Переверзев, Ю. Ф. Даниев. – Д. : Ин-т технической механики НАН Украины, 1999. – 224 с.
- Попов, Е. П. Приближённые методы исследования нелинейных автоматических систем / Е. П. Попов, И. П. Пальтов. – М. : Государственное изд-во физ.-мат. лит., 1960. – 780 с.
- Пугачёв, В. С. Теория случайных функций и её применение к задачам автоматического управления / В. С. Пугачёв – М. : Физматгиз, 1960. – 883 с.
- Свешников, А. А. Прикладные методы теории случайных функций / А. А. Свешников – М. : Наука, 1968. – 463 с.
- Статистические методы в проектировании нелинейных систем автоматического управления ; под ред. Б. Д. Доступова. – М. : Машиностроение, 1970. – 407 с.
- Тихонов, В. И. Нелинейные преобразования случайных процессов / В. И. Тихонов. – М. : Радио и связь, 1986. – 296 с.
- Тихонов, В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. – М. : Радио и связь, 1991. – 608 с.
- Тихонов, В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. – М. : Радио и связь, 1982. – 624 с.
- Чернецкий, В. И. Анализ точности нелинейных систем управления / В. И. Чернецкий. – М. : Машиностроение, 1968. – 246 с.
- Duncan, D. B. Response of linear time-dependent systems to random inputs / D. B. Duncan // Journal of Applied Physics. – 1953. – Vol. 24, № 5. – P. 609–611.
- Kuo, F. F. Hilbert transforms and modulation theory / F. F. Kuo, S. L. Freeny // Proc. of the National Electronics Conference. – Chicago, 1962. – P. 61–68.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Т. Н. МИЩЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Электроснабжение железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (097) 485 68 21, эл. почта mishchenko_tn@ukr.net

МЕТОДЫ АНАЛИЗА СТОХАСТИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

Цель. Изложены сущность и основные характеристики методов расчета переходных электромагнитных процессов в элементах и устройствах нелинейных динамических систем электрической тяги с учетом стохастического характера изменения напряжений и токов в тяговых сетях подсистемы электроснабжения и в силовых цепях электроподвижного состава. **Методика.** Исследование выполнено с использованием классических методов и методик нелинейной электротехники и теории вероятностей, в частности, методик применения стационарных эргодических и нестационарных случайных процессов. **Результаты.** Пользуясь изложенными методами, составлена схема замещения и система нелинейных интегро-дифференциальных уравнений электромагнитного состояния двухпутной межподстанционной зоны системы электрической тяги переменного тока; их расчеты позволяют получить электротяговое токораспределение на участках фидерных зон. **Научная новизна.** С научной точки зрения работа интересна и важна, во-первых, тем, что данные методы позволяют учесть вероятностный характер изменения тяговых напряжений и токов системы электротяги. Во-вторых, проведенные исследования позволяют создать наиболее эффективный метод анализа нелинейных цепей. **Практическая значимость.** Практическая ценность данного исследования заключается в применении изложенных методов к анализу электромагнитных и электроэнергетических процессов в системе тягового электроснабжения в случаях скоростного движения поездов.

Ключевые слова: аналитические методы моделирования; электромагнитные процессы; нелинейная динамическая система; электрифицированный участок; переходные режимы; электровоз

Т. М. MISHCHENKO^{1*}

^{1*}Dep. “Electric Power Supply of Railroads” Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (097) 485 68 21, e-mail mishchenko_tn@ukr.net

ANALYSIS METHODS OF STOCHASTIC TRANSIENT ELECTRO–MAGNETIC PROCESSES IN ELECTRIC TRACTION SYSTEM

Purpose. The essence and basic characteristics of calculation methods of transient electromagnetic processes in the elements and devices of non-linear dynamic electric traction systems taking into account the stochastic changes of voltages and currents in traction networks of power supply subsystem and power circuits of electric rolling stock are developed. **Methodology.** Classical methods and the methods of non-linear electric engineering, as well as probability theory method, especially the methods of stationary ergodic and non-stationary stochastic processes application are used in the research. **Findings.** Using the above-mentioned methods an equivalent circuit and the system of nonlinear integra-differential equations for electromagnetic condition of the double-track inter-substation zone of alternating current electric traction system are drawn up. Calculations allow obtaining electric traction current distribution in the areas of feeder zones. **Originality.** First of all the paper is interesting and important from scientific point of view due to the methods, which allow taking into account probabilistic character of change for traction voltages and electric traction system currents. On the second hand the researches develop the most efficient methods of nonlinear circuits' analysis. **Practical value.** The practical value of the research is presented in application of the methods to the analysis of electromagnetic and electric energy processes in the traction power supply system in the case of high-speed train traffic.

Keywords: analytical methods of modeling; electromagnetic processes; nonlinear dynamic system; electrified district; transient modes; electric locomotive

REFERENCES

1. Bernshteyn S.N. *Sobraniye sochineniy. Tom IV: Teoriya veroyatnostey. Matematicheskaya statistika* (Collected works, Vol. IV : Probability theory. Mathematical statistics). Moscow, Nauka Publ., 1964. 577 p.
2. Dech R. *Nelineynyye preobrazovaniya sluchaynykh protsessov* [Non-linear transformations of random processes]. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1965. 206 p.
3. Kazakov I.Ye., Dostupov B.G. *Statisticheskaya dinamika nelineynykh avtomaticheskikh sistem* [Statistical dynamics of nonlinear automatic systems]. Moscow, Gos. izd. fiz.-mat. lit-ry Publ., 1962. 331 p.
4. Kazakov I.Ye. *Statisticheskaya dinamika sistem s peremennoy strukturoy* [Statistical dynamics of systems with alternating structure]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 416 p.
5. Levin B.R. *Teoreticheskiye osnovy statisticheskoy radiotekhniki*. [Theoretical foundations of statistical radio-technics]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1989. 666 p.
6. Livshits N.A., Pugachev V.N. *Veroyatnostnyy analiz sistem avtomaticheskogo upravleniya v 2 t.* [Probabilistic analysis of automatic control system in 2 volumes]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1963.
7. Mishchenko T.M. *Pidvyshchennia efektyvnosti roboty systemy zakhystu sylovykh kil elektrovozu DE 1 na osnovi doslidzhen perekhidnykh avariynykh elektromahnitnykh protsesiv*. Kand, Diss. [Efficiency enhancement of security system operation of power circuits of DE electric locomotive on the basis of transient emergency electro-magnetic processes. Cand. Diss.]. Dnipropetrovsk, 2007. 212 p.
8. Mishchenko T.M. *Teoretychni aspekty ta metody identyfikatsii parametriv prystroiv systemy elektrychnoi tiahly. Metod mittievykh potuzhnostey; poslidovne ziednannya elementiv* [Theoretical aspects and methods of the parameters identification of the electric propulsion system devices. The swing capacity method; the series connection of the elements]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 121–126.
9. Pereverzev Ye.S., Daniyev Yu.F. *Ispytaniya i nadezhnost tekhnicheskikh sistem* [Testing and reliability of technical systems]. Dnipropetrovsk, Ins-t tekhnicheskoy mekhaniki NAN Ukrainy Publ., 1999. 224 p.
10. Popov Ye.P., Platov I.P. *Priblizhennyye metody issledovaniya nelineynykh avtomaticheskikh sistem* [Approximate methods for nonlinear automatic systems research]. Moscow, Gos. izd. fiz.-mat. lit-ry Publ., 1960. 780 p.
11. Pugachev V.S. *Teoriya sluchaynykh funktsiy i yeye primeneniye k zadacham avtomaticheskogo upravleniya* [Random functions theory and its application to the tasks of automatic control]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1960. 883 p.
12. Sveshnikov A.A. *Prikladnyye metody teorii sluchaynykh funktsiy* [Applied approaches of the random functions theory]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 463 p.
13. Dostupov B.D. *Statisticheskiye metody v proektirovanii nelineynykh sistem avtomaticheskogo upravleniya* [Statistical methods in the nonlinear systems of automatic control design]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1970. 407 p.
14. Tikhonov V.I. *Nelineynyye preobrazovaniya sluchaynykh protsessov* [Nonlinear transformations of random processes]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1986. 296 p.
15. Tikhonov V.I., Kharisov V.N. *Statisticheskyy analiz i sintez radiotekhnicheskikh ustroystv i sistem* [Statistical analysis and synthesis of wireless devices]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1991. 608 p.
16. Tikhonov V.I. *Statisticheskaya radiotekhnika* [Statistical radiotechnics]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1982. 624 p.
17. Chernetskiy V.I. *Analiz tochnosti nelineynykh sistem upravleniya* [Accuracy analysis of nonlinear control systems]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1968. 246 p.
18. Duncan D.B. Response of linear time-dependent systems to random inputs. *Journal of Applied Physics*, 1953, vol. 24, no. 5, pp. 609-611.
19. Kuo F.F., Freeny S.L. Hilbert transforms and modulation theory. Proc. of the National Electronics Conference. Chicago, 1962, pp. 61-68.

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

Надійшла до редколегії 13.12.2012.

Прийнята до друку 21.03.2013.

УДК 621.33:519.233.4/.5

А. В. НІКІТЕНКО^{1*}, М. О. КОСТІН¹

¹*Каф. «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, к. 238, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна, тел. +38 (056) 373 15 37, ел. пошта nikitenko.diit@gmail.com, dnuzt_toe@mail.ru

КОРЕЛЯЦІЙНО-ДИСПЕРСІЙНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ ПОВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ПРИСТРОЯХ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Мета. Розробка і теоретичне обґрунтування аналітичного методу визначення активної, неактивної і повної потужностей пристроїв систем електричної тяги з урахуванням нестационарного характеру зміни випадкових процесів напруги і струму в елементах цих систем. **Методика.** Для розв'язання поставленої задачі використовуються математичні методи теорії випадкових процесів, а також методи «дискретної електротехніки». **Результати.** Розроблено кореляційно-дисперсійний метод аналітичного визначення активної, реактивної по Фрізе і повної потужностей пристроїв систем електричної тяги магістральних залізниць. Метод базується на відомих поняттях авто- і взаємнокореляційних функцій випадкових процесів, яким підкорюються фідерні напруги і струми підсистеми тягового електропостачання, а також напруги і струми електрорухомого складу. Метод дозволяє оцінювати потужності у випадку як стаціонарних, так і нестационарних стохастичних процесів. Запропонований метод, застосований як для тягового режиму, так і для режиму рекуперативного гальмування електрорухомого складу. Чисельні розрахунки (за розробленим методом) складових повної потужності для однієї із фідерних зон на Придніпровській залізниці виявили суттєві перетоки реактивної потужності по тяговій мережі, що підтверджується також великими значеннями коефіцієнта реактивної потужності. **Наукова новизна.** Полягає, по-перше, в тому, що розроблено і обґрунтовано новий, кореляційно-дисперсійний, метод визначення повної, активної і реактивної потужностей в елементах систем електричного транспорту, який відрізняється від існуючих методів врахуванням нестационарного характеру зміни випадкових процесів фідерних і підстанційних напруг і струмів. По-друге, вперше встановлено явище перетоку великих значень реактивної потужності по Фрізе в системі електричної тяги постійного струму. **Практична значимість.** Розроблений метод і методика, що на ньому базується, дозволяють оцінювати основні енергетичні показники систем електричної тяги, зокрема, коефіцієнт реактивної потужності та основні і додаткові втрати активної електроенергії як в силових колах електрорухомого складу, так і в тяговій живлячій мережі.

Ключові слова: потужність; метод; випадковий процес; напруга; струм; кореляційна функція; електричний транспорт; дисперсія

1. Вступ

Метод кореляційних функцій для визначення складових повної потужності в пристроях тягового електропостачання, запропонований в роботі [3], базується на теорії стаціонарних ергодичних випадкових процесів. Згідно цього методу фідерна напруга і фідерний (і підстанційний) тягові струми являються стаціонарними ергодичними процесами.

В існуючих закордонних публікаціях, зокрема в [8, 10, 11], означена проблема розв'язується, виходячи з детермінованого характеру зміни напруг і струмів. Проте, в тягово-рекуперативному режимі і напруга на струмоприймачі, і тяговий струм одиниці ЕРС (зокрема

електровоза) являються нестационарними випадковими процесами (рис. 1), оскільки момент часу початку, тривалість режиму рекуперації, а також величина струму рекуперації являються хаотичними величинами. Саме цей факт обумовлює розвиток методу кореляційних функцій для аналізу енергетичних процесів в тягово-рекуперативному режимі систем електричної тяги, що і являється метою даної роботи. При цьому можливі два шляхи: «непрямий» і «прямий». Перший шлях полягає у «спрощеному» представленні (розкладанні) нестационарних процесів, а другий – пропонує безпосереднє, тобто без змін, їх використання.

Розглянемо їх більш докладніше.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

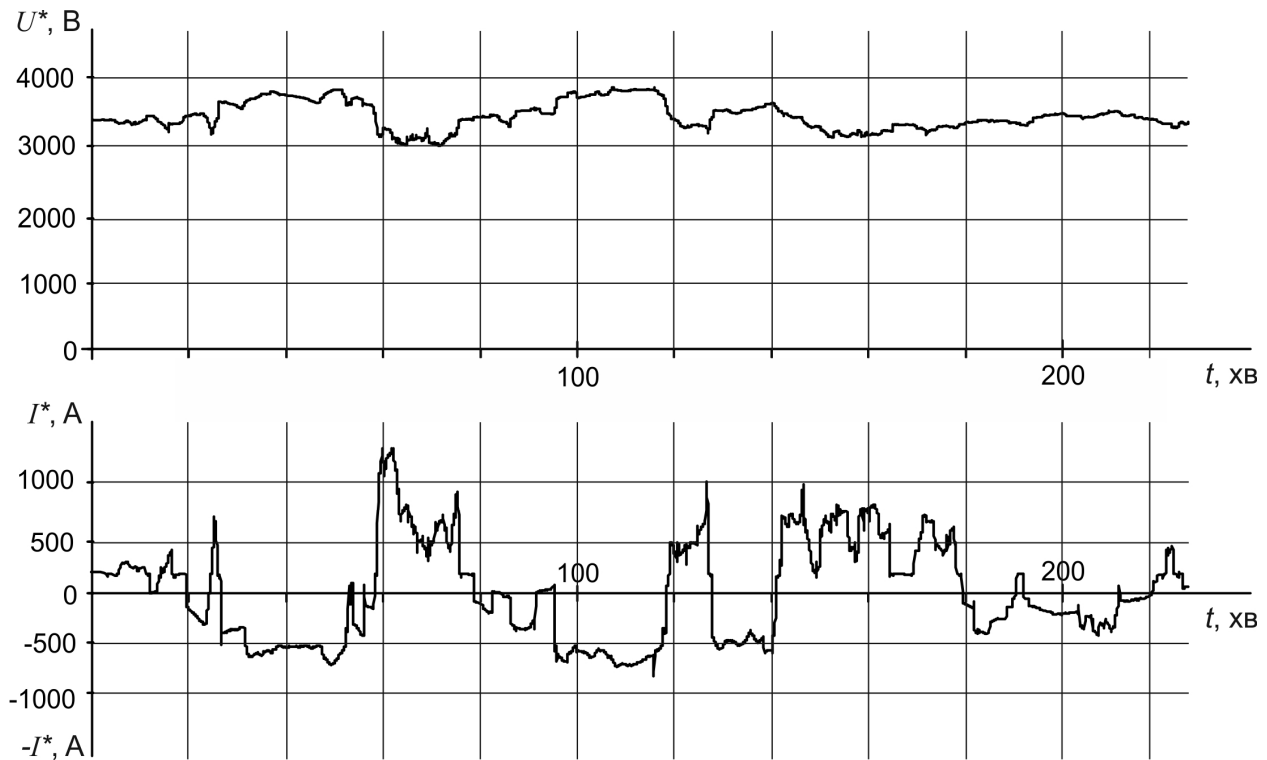


Рис. 1

2. Способи розкладання нестационарних випадкових функцій напруги та струму

Для досягнення поставленої мети «спростити» задані нестационарні випадкові процеси фідерної напруги $U^*(t)$ та струму $I^*(t)$ шляхом представлення (розкладання) їх в формі детермінованих функцій випадкових величин або в формі стаціонарних випадкових функцій. Для цього, з метою узагальнення аналізу, позначимо функції напруги $U^*(t)$ та струму $I^*(t)$ однією випадковою функцією $X^*(t)$.

Найбільш простим способом розкладання функції $X^*(t)$ являється її представлення узагальненим рядом Фур'є [7]:

$$X^*(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \lambda_k \cdot \psi_k(t), \quad (1)$$

де λ_k – залежні випадкові величини, що визначаються за спеціальною формулою;

ψ_k – система ортогональних функцій, що визначається, виходячи з рівності нулю виразу середньоквадратичної похибки для кожної реалізації функції $X^*(t)$.

лізації функції $X^*(t)$.

Найбільш складним, та все ж інколи застосовуваним, являється представлення випадкових функцій за методом Карунена [2]:

$$X^*(t) = \sum_{k=1}^{\infty} v_k \cdot \psi_k(t) + m_x(t), \quad (2)$$

де $m_x(t)$ – функція математичного сподівання функції $X^*(t)$;

v_k – випадкові некорельовані величини;

$\psi_k(t)$ – власна функція кореляційної функції (деякого інтегрального рівняння).

Найбільш часто для представлення функції $X^*(t)$ застосовується так зване канонічне розкладання Пугачова [5]:

$$X^*(t) = m_x(t) + \sum_{i=1}^{\infty} v_i \cdot \phi_i(t), \quad (3)$$

де v_i – система випадкових величин з математичним сподіванням, рівним нулю;

$\phi_i(t)$ – невідповідні функції.

Приведені вище розкладання випадкових фу-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

нкцій володіють тим істотним недоліком, що для отримання достатньої точності представлення потрібно використовувати достатньо велику кількість членів ряду, а відповідно і велику кількість випадкових величин, що істотно ускладнює обчислювальну роботу і подальший енергетичний аналіз. Останнє особливо спостерігається при дослідженні нелінійних систем, оскільки лінійна форма розкладання добре пристосована для аналізу лінійних систем і малопридатна для нелінійних.

В роботі [4] на основі [6] запропоновано представляти випадкові функції електричних величин в електропостачанні приміських залізниць у вигляді:

$$X(t) = m(t) + Y(t), \quad (4)$$

де $Y(t)$ – стаціонарний нормальний процес з параметрами $N(0, \sigma)$;

$m(t)$ – математичне сподівання, яке представляється рядом Фур'є і знаходиться достатньо складним способом. На процес $Y(t)$ також накладаються достатньо суворі обмеження.

Враховуючи викладене вище, застосуємо метод «прямого» використання нестаціонарних випадкових процесів.

3. Кореляційно-дисперсійний метод

Уявимо синхронно записані за деякий інтервал часу $0 \dots T$ реєстрограми напруг $U_1, U_2, \dots, U_i, \dots, U_n$ на струмоприймачі та струмів $I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_n$ в режимі рекуперації (рис. 2).

Дискретизуємо ці реєстрограми з необхідним (згідно з теоремою Котельникова [3]) кроком $\Delta t = \tau$ і запишемо, згідно з [6, 1], вирази оцінки авто- і взаємно-кореляційних функцій для нестаціонарних випадкових процесів напруги $U(t)$ та струму $I(t)$.

Кореляційна функція напруги (згідно з рис. 2) матиме вигляд:

$$\begin{aligned} K_U(t_k, t_l) &= \frac{\sum_{i=1}^n U_i(t_k) \cdot U_i(t_l)}{n-1} - m_U(t_k) \cdot m_U(t_l) = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n U_i(t_k) \cdot U_i(t_k + \tau)}{n-1} - m_U(t_k) \cdot m_U(t_k + \tau), \end{aligned} \quad (5)$$

де m_U – математичне сподівання у відповідні моменти часу t_k та t_l .

При $t_k = t_l$, тобто при $\tau = 0$, вираз (5) перетворюється в:

$$K_U(t_k, \tau = 0) = U^2(t_k) - m_U^2(t_k), \quad (6)$$

де $U(t_k)$ – діюче значення напруги в момент часу t_k .

З виразу (6) і з урахуванням того, що при $\tau = 0$ кореляційна функція будь-якого випадкового процесу перетворюється в дисперсію D цього процесу, можна записати:

$$\begin{aligned} U(t_k) &= \sqrt{K_U(t_k, \tau = 0) + m_U^2(t_k)} = \\ &= \sqrt{D_U(t_k) + m_U^2(t_k)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Аналогічно для нестаціонарного випадкового процесу струму $I(t)$ можна отримати вираз діючого значення струму як:

$$\begin{aligned} I(t_k) &= \sqrt{K_I(t_k, \tau = 0) + m_I^2(t_k)} = \\ &= \sqrt{D_I(t_k) + m_I^2(t_k)}, \end{aligned} \quad (8)$$

де $K_I(t_k, \tau = 0)$ – кореляційна функція струму $I(t)$.

Тоді повна потужність в момент часу t_k визначається як:

$$\begin{aligned} S(t_k) &= U(t_k) \cdot I(t_k) = \\ &= \sqrt{[K_U(t_k, \tau = 0) + m_U^2(t_k)]} \cdot \sqrt{[K_I(t_k, \tau = 0) + m_I^2(t_k)]} = \\ &= \sqrt{[D_U(t_k) + m_U^2(t_k)]} \cdot \sqrt{[D_I(t_k) + m_I^2(t_k)]}. \end{aligned} \quad (9)$$

Користуючись рядом значень величин $K_U, m_U, D_U, K_I, m_I, D_I$ в моменти часу $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_m$ (див. рис. 2), побудуємо часові залежності $K_U(t), m_U(t), D_U(t), K_I(t), m_I(t), D_I(t)$ з наступною апроксимацією їх якими-небудь аналітичними виразами. Тоді вирази (7) і (8) можна переписати у вигляді функціональних залежностей як:

$$U(t) = \sqrt{K_U(t) + m_U^2(t)} = \sqrt{D_U(t) + m_U^2(t)}, \quad (10)$$

$$I(t) = \sqrt{K_I(t) + m_I^2(t)} = \sqrt{D_I(t) + m_I^2(t)}. \quad (11)$$

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

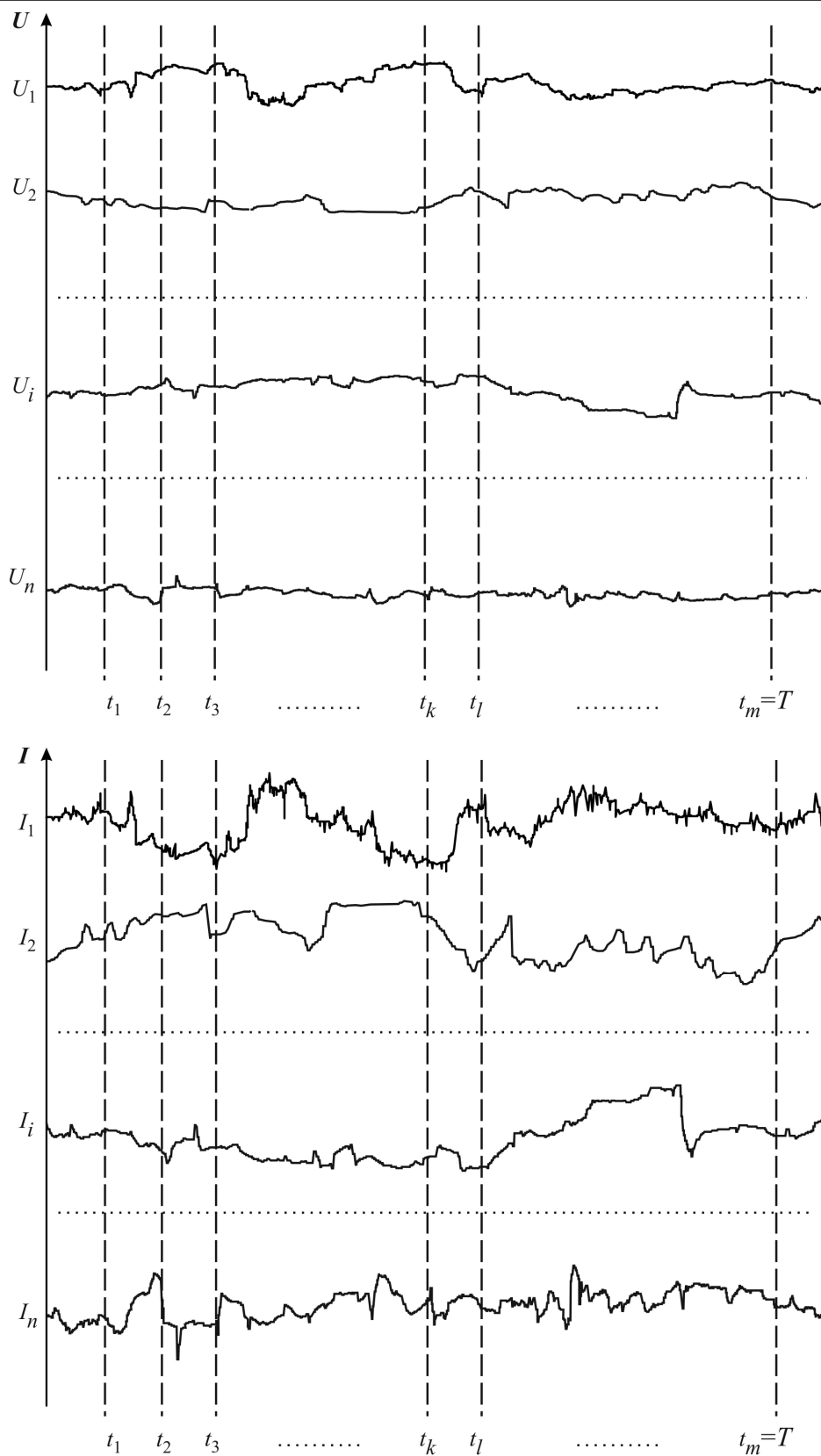


Рис. 2

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Тоді функціональну залежність повної потужності на інтервалі часу $0...T$ можна визначити як:

$$\begin{aligned} S(t) &= U(t) \cdot I(t) = \\ &= \sqrt{[K_U(t) + m_U^2(t)] \cdot [K_I(t) + m_I^2(t)]} = \\ &= \sqrt{[D_U(t) + m_U^2(t)] \cdot [D_I(t) + m_I^2(t)]}. \end{aligned} \quad (12)$$

Оцінку взаємної кореляційної функції випадкових процесів $U(t)$ та $I(t)$ можна записати як:

$$\begin{aligned} K_{UI}(t_k, t_l) &= \frac{\sum_{i=1}^n [U_i(t_k) - m_U(t_k)] \cdot [I_i(t_l) - m_I(t_l)]}{n} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n U_i(t_k) \cdot I_i(t_l) - U_i(t_k) \cdot m_I(t_l) - \\ &\quad - I_i(t_l) \cdot m_U(t_k) + m_U(t_k) \cdot m_I(t_l)}{n}. \end{aligned} \quad (13)$$

Доданки в (13) матимуть наступні значення:
– перший доданок:

$$\frac{\sum_{i=1}^n U_i(t_k) \cdot I_i(t_l)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i(t_k) \cdot I_i(t_k + \tau)}{n},$$

а при $t_k = t_l$, тобто при $\tau = 0$:

$$\frac{\sum_{i=1}^n U_i(t_k) \cdot I_i(t_k)}{n} = P(t_k); \quad (14)$$

– другий доданок (при $\tau = 0$):

$$\frac{\sum_{i=1}^n U_i(t_k) \cdot m_I(t_k + \tau)}{n} =$$

$$Q_\Phi(t_k) = \sqrt{S^2(t_k) - P^2(t_k)} =$$

$$\begin{aligned} &= \sqrt{[K_U(t_k) + m_U^2(t_k)] \cdot [K_I(t_k) + m_I^2(t_k)] - [K_{UI}(t_k, \tau = 0) + m_U(t_k) \cdot m_I(t_k)]^2} = \\ &= \sqrt{[D_U(t_k) + m_U^2(t_k)] \cdot [D_I(t_k) + m_I^2(t_k)] - [K_{UI}(t_k, \tau = 0) + m_U(t_k) \cdot m_I(t_k)]^2}, \end{aligned} \quad (21)$$

або у вигляді часової функціональної залежності:

$$= m_I(t_k) \cdot \frac{\sum_{i=1}^n U_i(t_k)}{n} = m_I(t_k) \cdot m_U(t_k); \quad (15)$$

– третій доданок (при $\tau = 0$) матиме вигляд аналогічний виразу (15):

$$\frac{\sum_{i=1}^n I_i(t_l) \cdot m_U(t_k)}{n} = m_I(t_k) \cdot m_U(t_k); \quad (16)$$

– четвертий доданок, при $\tau = 0$:

$$\begin{aligned} m_U(t_k) \cdot m_I(t_l) &= m_U(t_k) \cdot m_I(t_k + \tau) = \\ &= m_U(t_k) \cdot m_I(t_k). \end{aligned} \quad (17)$$

З урахуванням виразів (14)-(17) вираз (13) для взаємної кореляційної функції K_{UI} прийме вигляд:

$$K_{UI}(t_k, \tau = 0) = P(t_k) - m_U(t_k) \cdot m_I(t_k). \quad (18)$$

Звідки активна потужність в момент часу $t = t_k$ визначається як:

$$P(t_k) = K_{UI}(t_k, \tau = 0) + m_U(t_k) \cdot m_I(t_k), \quad (19)$$

а після отримання значень $P(t_1), P(t_2), \dots, P(t_k), \dots, P(t_m)$ та значень $K_{UI}(t_1), K_{UI}(t_2), \dots, K_{UI}(t_k), \dots, K_{UI}(t_m)$ та $m(t_1), m(t_2), \dots, m(t_k), \dots, m(t_m)$ та їх апроксимації отримаємо функціональну залежність на відрізку $[0...T]$ у вигляді:

$$P(t) = K_{UI}(t) + m_U(t) \cdot m_I(t). \quad (20)$$

Враховуючи вирази для повної та активної потужностей, неактивну потужність (або реактивну по Фризе [9]) можна записати у вигляді дискретних значень як:

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

$$\begin{aligned}
Q_\phi &= \sqrt{S^2(t) - P^2(t)} = \\
&= \sqrt{[K_U(t) + m_U^2(t)] \cdot [K_I(t) + m_I^2(t)] - [K_{UI}(t, \tau=0) + m_U(t) \cdot m_I(t)]^2} = \\
&= \sqrt{[D_U(t) + m_U^2(t)] \cdot [D_I(t) + m_I^2(t)] - [K_{UI}(t, \tau=0) + m_U(t) \cdot m_I(t)]^2}. \quad (22)
\end{aligned}$$

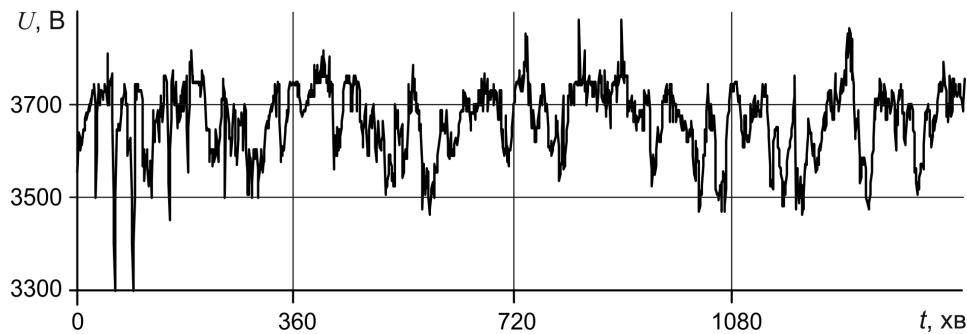


Рис. 3. Випрямлена напруга на шинах підстанції А за одну добу

Тоді коефіцієнт реактивної потужності одиниці електрорухомого складу дорівнює:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_\phi}{P}, \quad (23)$$

і визначається як відношення виразів (21) та (19), або (22) та (20).

4. Результати та аналіз чисельних розрахунків

Для ілюстрації викладеного методу, а також для оцінки власне значень активної P , реактивної по Фризе Q_ϕ і повної S потужностей було виконано чисельні розрахунки зазначених потужностей для однієї реально діючої електрифікованої ділянки постійного струму А-Б (А і Б – тягові підстанції) Придніпровської залізниці. Для цього було здійснено часовий моніторинг випрямлених фідерних напруги та струму, які одними своїми реалізаціями представлені на рис. 3 і 4.

Як впливає із рис. 3, випрямлена фідерна (підстанційна) напруга $U(t)$ характеризується значними неперервними коливаннями в часі, тобто є нестационарним випадковим процесом. Імовірісно-статистичний аналіз $U(t)$ свідчить, що фактичні поточні значення на протязі доби змінюються в діапазоні від 3200 до 3700 В при середньому значенні 3500 В і середньоквадратичному відхиленні $\sigma_U = 72$ В. Незначні, хоча і від’ємні, значення коефіцієнта асиметрії ($As = -0,243$) і

ексцесу ($Ex = -0,104$), а також величина імовірності за критерієм Пірсона ($p = 0,16 \dots 0,23$) дозволяють зробити висновок, що імовірнісним законом розподілення величини напруги є закон Гаусса.

Одночасно, фідерний і підстанційний струми міжпідстанційної ділянки А-Б характеризуються теж різкими хвилюподібними змінами (рис. 4). Вони особливо помітні при малій кількості поїздів (1–2 поїзда) на фідерній зоні. Тобто, величина $I(t)$ теж являється нестационарним випадковим процесом. Розкид значень фідерного струму на протязі доби значний: від –200 до 1300 А при математичному сподіванні $m_I = 295$ А і $\sigma_I = 294$ А. Значення $As = 0,67$ і $Ex = -0,17$ свідчать про те, що законом розподілення значень однієї реалізації $I(t)$ не слідує за законом Гаусса, а має чітке явне відхилення вліво, в сторону менших значень струму.

Кореляційні функції, що побудовані для ансамблів реалізацій випадкових функцій напруги $U(t)$ і струму $I(t)$, представлені на рис. 5.

На рис. 6 представлені часові залежності активної P , реактивної по Фризе Q_ϕ і повної S потужностей, що передаються тяговою підстанцією А в тягову мережу міжпідстанційної зони А-Б; потужності визначені за виразами (9), (19) і (21). При цьому визначали «миттєві» (1 точка – середнє значення за 10 хв) і «погодинні» (1 точка – середнє значення за 1 год) значення потужностей.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

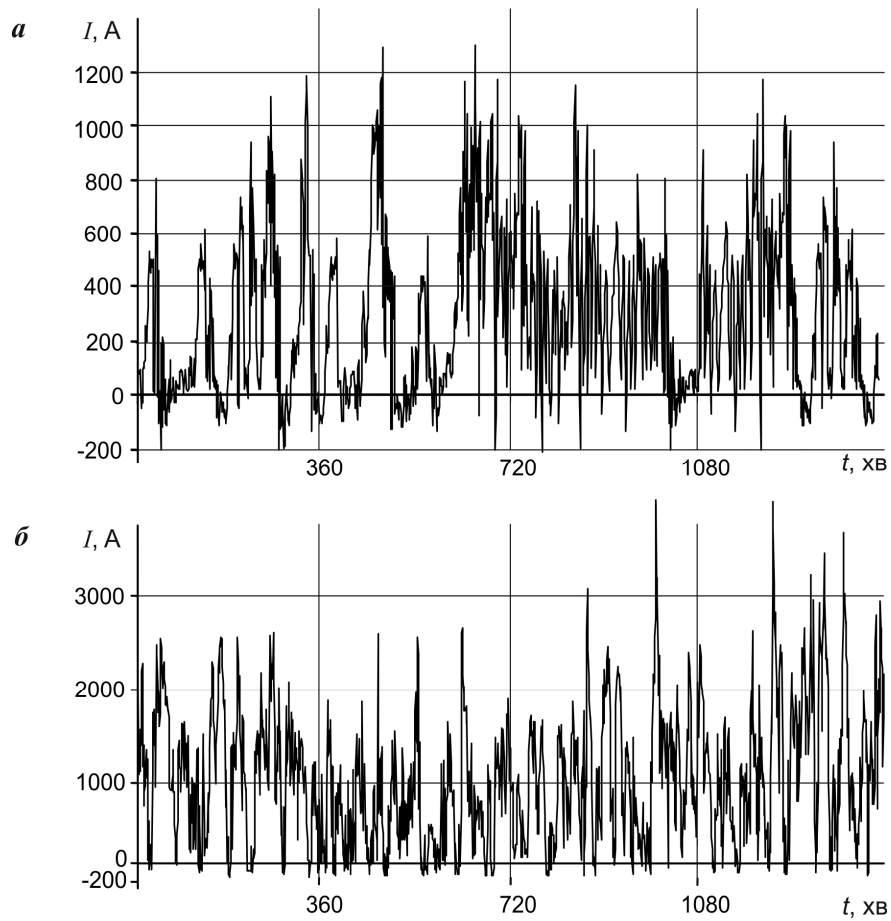


Рис. 4. Часові залежності тягових струмів:

а) фідерний струм тягової підстанції А; б) регістрограма струму всієї підстанції А

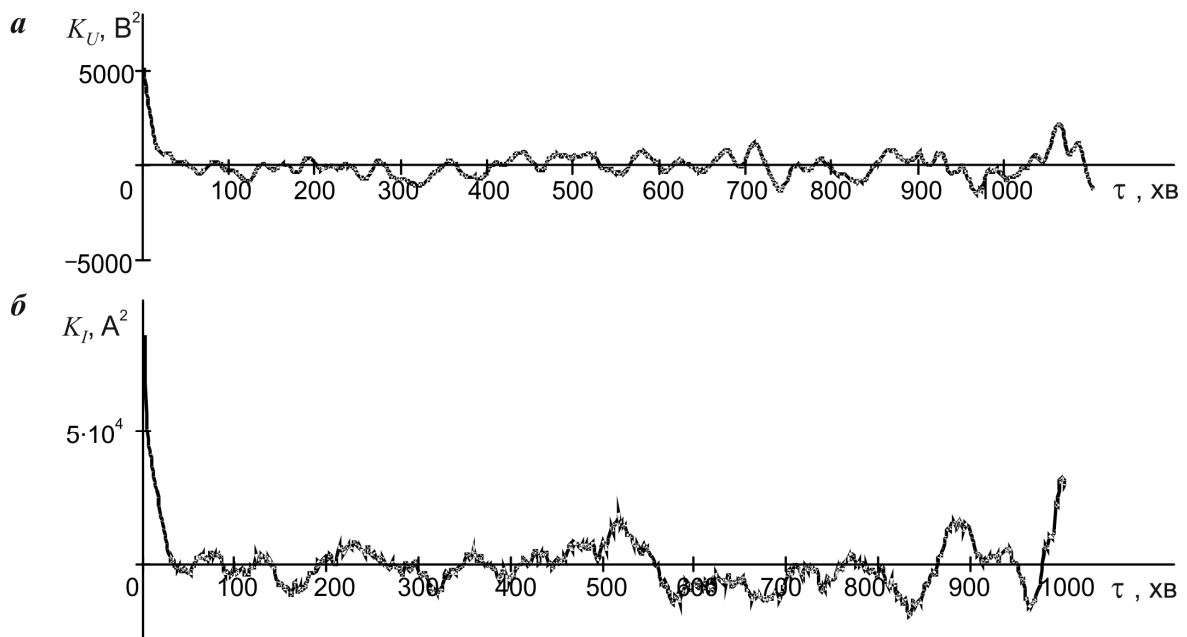


Рис. 5. Кореляційні функції випрямленої напруги: а – на шинах тягової підстанції А; б – фідерного струму

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

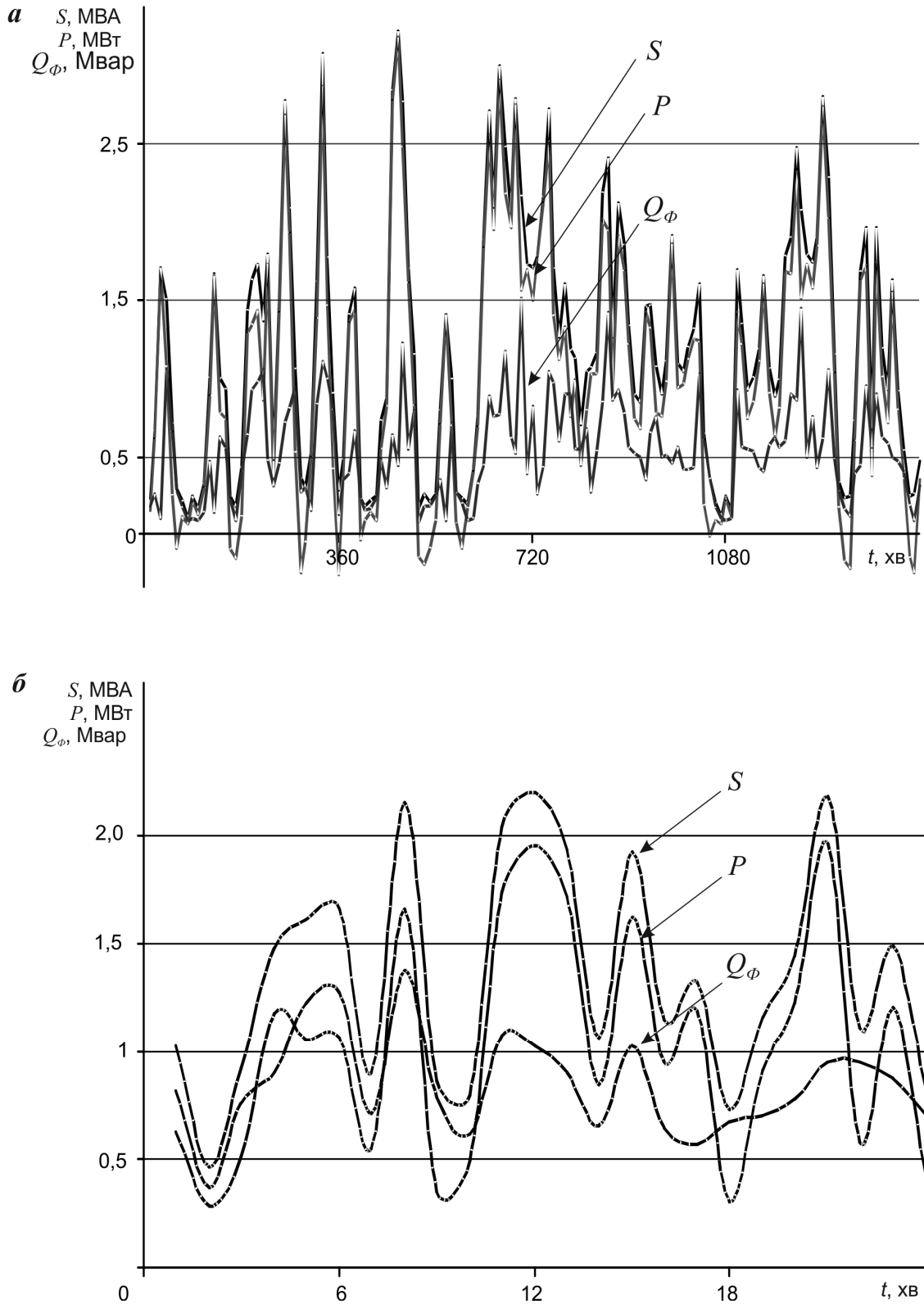


Рис. 6. Часові залежності потужностей, що передаються тяговою підстанцією А в тягову мережу зони А-Б:
а) «миттєві» за 2 години; б) «погодинні» за добу

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Залежності в часі $P(t)$, $Q_\phi(t)$, S , як впливає із рис. 6, є неперервними, неперіодичними, більш того, стохастичними процесами. «Миттєві» залежності (рис. 6, а) більш різко змінні, ніж «погодинні» (рис. 6, б). Закономірним і систематичним в графіках рис. 6 є те, що залежності $S(t)$ розташовуються вище залежностей $P(t)$ і $Q_\phi(t)$. Що ж стосується графіків $P(t)$ і $Q_\phi(t)$, то така закономірність відсутня: лінії кривих $P(t)$ і $Q_\phi(t)$ час від часу перетинаються. При цьому нерідко $Q_\phi > P$, що свідчить про значні перетоки реактивної потужності по тяговій мережі, які також обумовлюють великі значення додаткових втрат електроенергії. Останнє також підтверджується динамічними стохастичними змінами коефіцієнта реактивної потужності $\text{tg}\phi$, максимальні значення якого в деякі моменти часу перевищують 3,0 (рис. 7) при нормально-допустимому 0,25. Причиною цього, за нашою думкою, є невелике навантаження поїздами фідерної зони, яке обумовлює невеликі значення активної потужності P , бо, як

відомо, величина $\text{tg}\phi$ визначається за виразом (23).

Висновки

1. В тягово-рекуперативному режимі роботи системи електричної тяги постійного струму повну, активну та реактивну потужності доцільно визначати кореляційно-дисперсійним методом, який дозволяє враховувати нестационарний характер випадкових процесів напруги та струму.

2. В режимі рекуперативного гальмування, як і в тяговому режимі, енергетичною характеристикою одиниці електрорухомого складу має бути коефіцієнт реактивної потужності $\text{tg}\phi$.

3. В системі електричної тяги постійного струму спостерігаються перетоки великих значень реактивної потужності, які обумовлюють також суттєві значення додаткових втрат електроенергії як в тягових мережах, так і в електрорухомому складі.

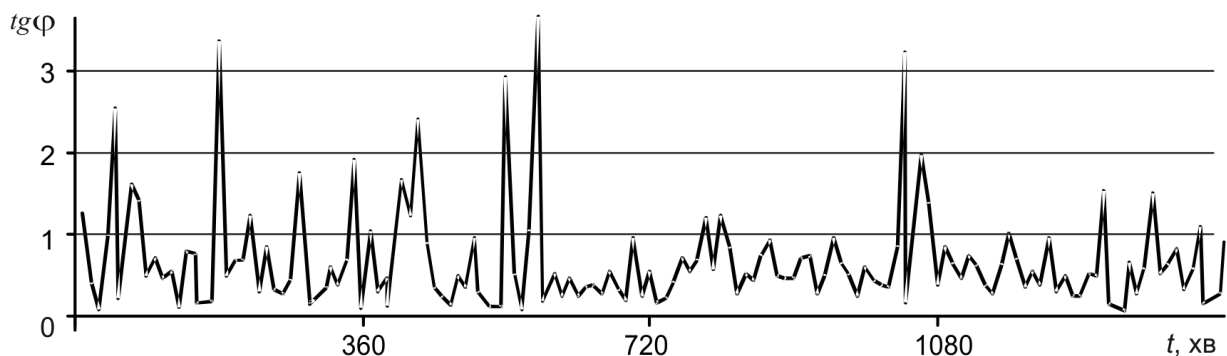


Рис. 7. Часові залежності «миттєвих» значень коефіцієнта реактивної потужності $\text{tg}\phi$ тягової мережі фідерної зони між підстанціями А і Б

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. — М. : Наука, 1969. — 576 с.
2. Гренандер, У. Случайные процессы и статистические выводы / У. Гренандер. — М. : Изд-во иностр. лит., 1961. — 165 с.
3. Костін, М. О. Методи визначення складових повної потужності в системах електричної тяги / М. О. Костін, А. В. Петров // Технічна електродинаміка. Тем. вип. «ПСЕ-2011». — 2011. — Вип. 4.3. — С. 53–59.
4. Никитин, Ю. М. Метод статистического исследования нестационарных случайных процессов в энергоснабжении / Ю. М. Никитин // Электричество. — 1971. — № 2. — С. 25–31.
5. Пугачев, В. С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления / В. С. Пугачев. — М. : Гостехиздат, 1957. — 659 с.
6. Свешников, А. А. Прикладные методы теории случайных функций / А. А. Свешников. — М. : Наука, 1968. — 463 с.
7. Чернецкий, В. И. Анализ точности нелинейных систем управления / В. И. Чернецкий. — М. : Машиностроение, 1968. — 246 с.
8. Effectiveness and Energy Saving Aspects in Modernization Process of Tram Power Supply Systems / A. Szelaq, T. Maciolek, Z. Drażek,

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

- M. Patoka // Pojazdy Szynowe, 2011, vol. 3, P. 34–42.
9. Fryze, S Wirk-, Blind- und Scheinleistung in elektrischen stromkreisen min nichtsinsusstormigen rerlaf von Strom und Spannung / S. Fryze // Elektrotechnische Zeitschrift. – 1932. – T. 25. – S. 596–599; T. 26. – S. 625–627; T. 29. – S. 700–702.
10. Gigch, J. M. (Jan) van. AC Traction Power Supply Design and EMC Verification / J. M. (Jan) van Gigch, G. (Gert-Jan) van Alphen // Nowoczesna Trakcja Electryczna w zintegrowanej Europie XXI wieku : materiały konferencyjne 6 międzynarodowa konferencja naukowa (25–27 września 2003). – Warszawa : Politechnika Warszawska EESEMC CoE, 2003, P. 1–6.
11. Krocak, M. Measurements of Electric Energy Parameters Using PC-Programmed Power Analyser / Maciej Krocak // Nowoczesna Trakcja Electryczna w zintegrowanej Europie XXI wieku : materiały konferencyjne 6 międzynarodowa konferencja naukowa (25–27 września 2003). – Warszawa : Politechnika Warszawska EESEMC CoE, 2003. – P. 118–121.

A. В. НИКИТЕНКО^{1*}, Н. А. КОСТИН¹

^{1*}Каф. «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, к. 238, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, 49010, Украина, тел. +38 (056) 373 15 37, эл. почта nikitenko.dii@gmail.com; dnuzt_toe@mail.ru

КОРРЕЛЯЦИОННО-ДИСПЕРСИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ В УСТРОЙСТВАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Цель. Разработка и теоретическое обоснование аналитического метода определения активной, реактивной и полной мощностей устройств систем электрической тяги с учетом нестационарного характера изменения случайных процессов напряжения и тока в элементах этих систем. **Методика.** Для решения поставленной задачи используются математические методы теории случайных процессов, а также методы «дискретной электротехники». **Результаты.** Разработан корреляционно-дисперсионный метод аналитического определения активной, реактивной по Фризе и полной мощностей устройств систем электрической тяги магистральных железных дорог. Метод базируется на известных понятиях авто- и взаимокорреляционных функций случайных процессов, которым подчиняются фидерные напряжения и токи подсистемы тягового электроснабжения, а также напряжения и токи электроподвижного состава. Метод позволяет оценивать мощности в случае как стационарных, так и нестационарных стохастических процессов. Предложенный метод применим как для тягового режима, так и для режима рекуперативного торможения электроподвижного состава. Численные расчеты (по разработанному методу) составляющих полной мощности для одной из фидерных зон на Приднепровской железной дороге показали существенные перетоки реактивной мощности по тяговой сети, что подтверждается также большими значениями коэффициента реактивной мощности. **Научная новизна.** Заключается, во-первых, в том, что разработан и обоснован новый, корреляционно-дисперсионный, метод определения полной, активной и реактивной мощностей в элементах систем электрического транспорта, который отличается от существующих методов учетом нестационарного характера изменения случайных процессов фидерных и подстанционных напряжений и токов. Во-вторых, впервые установлено явление перетока больших значений реактивной мощности по Фризе в системе электрической тяги постоянного тока. **Практическая значимость.** Разработанный метод и методика, которая на нем базируется, позволяют оценить основные энергетические показатели систем электрической тяги, в частности, коэффициент реактивной мощности, а также основные и добавочные потери активной электрической энергии, как в силовых цепях электроподвижного состава, так и в тяговой питающей сети.

Ключевые слова: мощность; метод; случайный процесс; напряжение; ток; корреляционная функция; электрический транспорт; дисперсия

A. V. NIKITENKO^{1*}, M. O. KOSTIN¹

^{1*}Dep. “Electrical Engineering and Electromechanics”, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Room 238, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 373 15 37, e-mail nikitenko.diit@gmail.com; dnuzt_toe@mail.ru

THE METHOD OF THE CORRELATION AND DISPERSION DEFINING OF THE TOTAL POWER COMPONENTS IN THE ELECTRIC TRANSPORT DEVICES

Purpose. Development and theoretical ground of the analytical method for the calculation of the active, reactive and total powers in the electric traction devices, taking into consideration the non-stationary character of the stochastic processes change of the voltage and current in the elements of these systems. **Methodology.** The mathematical methods of the random processes theory and the “discrete electrical engineering” methods are used for solving the main problem of this paper. **Findings.** The Method of the Correlation and Dispersion is developed for definition of the active power, the reactive power by Fryze and the total power of the devices in the elements of the electric traction system of the main-line railways. The method is based on the well-known concepts of auto- and inter-correlation functions of the random processes which govern the feeder voltages and the currents in the traction power supply subsystem as well as the currents and voltages of the electric rolling stock. The method developed in this paper allows estimating the powers of both stationary and non-stationary processes. This method can be used for the analysis of both the traction mode and the regenerative braking mode of the electric rolling stock. The total power components were calculated for the one of the feeder areas of the Prydniprovsk railway using this method. The results show the significant flow of the reactive power in the traction power supply system. This fact is also confirmed by the high values of the reactive power coefficient. **Originality.** Scientific novelty of the research is consisted in the following. Firstly, for defining the active and reactive powers in elements of the traction power supply system the new method (the Method of Correlation and Dispersion) is created and grounded. This method is different from other existing methods because it takes into consideration the varying non-stationary character of the chance processes of the feeder and substation voltages and currents. Secondly, in the DC traction power supply system the large values of the exchange reactive power by Fryze were created for the first time. **Practical value.** The method and its technique allow calculating the main energy coefficients for the traction power systems such are the reactive power coefficient, the main and additional active power losses in the power circuit of the electric rolling stock and the traction power supply system.

Keywords: power; method; stochastic process; voltage; current; correlation function; electric transport; dispersion

REFERENCES

1. Venttsel Ye.S. *Teoriya veroyatnostey* [The probability theory]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 576 p.
2. Grenander U. *Sluchaynyye protsessy i statisticheskiye vyvody* [The stochastic processes and the statistic findings]. Moscow, Izd-vo inostr. Lit. Publ., 1961. 165 p.
3. Kostin M.O., Petrov A.V. Metody vyznachennia skladovykh povnoi potuzhnosti v systemakh elektrychnoi tiahly [The methods for the total power components definition in the traction power supply systems]. *Tekhnichna elektrodynamika. Tem. vyp. «PSE-2011» - Technical electrodynamics. Subject issue «PSE-2011»*, 2011, issue 4.3, pp. 53-59.
4. Nikitin Yu.M. Metod statisticheskogo issledovaniya nestatsionarnykh sluchaynykh protsessov v energosnabzhenii [The method of the statistic investigation of the non-stationary random processes in the power supply systems]. *Elektrichestvo - Electricity*, 1971, no. 2, pp. 25-31.
5. Pugachev V.S. *Teoriya sluchaynykh funktsiy i yeye primeneniye k zadacham avtomaticheskogo upravleniya* [The theory of the random functions and its using in the problems of the self-operated control systems]. Moscow, Gostekhizdat Publ., 1957. 659 p.
6. Sveshnikov A.A. *Prikladnyye metody teorii sluchaynykh funktsiy* [The applied methods of the random functions theory]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 463 p.
7. Chernetskiy V.I. *Analiz tochnosti nelineynykh sistem upravleniya* [The precision analysis of the nonlinear control systems]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1968. 246 p.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

8. Szeląg A., Maciołek T., Dążek Z., Patoka M. Effectiveness and Energy Saving Aspects in Modernization Process of Tram Power Supply Systems. *Pojazdy Szynowe*, 2011, vol. 3, pp. 34-42.
9. Fryze S. Wirk-, Blind- und Scheinleistung in Elektrischen Stromkreisen mit Nichtsinusformigen Verlauf von Strom und Spannung. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1932, no. 25, pp. 596-597; no. 26, pp. 625-627; no. 29, pp. 700-702.
10. J.M. (Jan) van Gigh, G. (Gert-Jan) van Alphen AC Traction Power Supply Design and EMC Verification. *Materiały konferencyjne 6 międzynarodowa konferencja naukowa «Nowoczesna Trakcja Elektryczna w zintegrowanej Europie XXI wieku»*. Warszawa, 2003, pp. 1-6.
11. Krocak, M. Measurements of Electric Energy Parameters Using PC-Programmed Power Analyser. *Materiały konferencyjne 6 międzynarodowa konferencja naukowa «Nowoczesna Trakcja Elektryczna w zintegrowanej Europie XXI wieku»*. Warszawa, 2003, pp. 118-121.

Стаття рекомендована до публікації д.физ.-мат.н., проф. Гаврилюком В. І (Україна),
д.т.н., проф. Ф. П. Шкрабцем (Україна)

Надійшла до редакції 22.03.2013

Прийнята до друку 10.04.2013

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 629.4.027.4:669.14

І. А. ВАКУЛЕНКО^{1*}

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

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ ЗНОШУВАННЯ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ З МАРТЕНСИТНОЮ СТРУКТУРОЮ

Мета. Метою роботи є оцінка ступеню зміни твердості металу залізничного колеса з структурою мартенситу підчас кочення. **Методика.** В якості характеристики міцності була використана твердість за Роквеллом. Випробування на зношування проводили за умов нормального навантаження, з просковзуванням (10%) і без просковзування, на випробувальному устаткуванні СМЦ-2. Параметри тонкої кристалічної будови (ступінь тетрагональності кристалічної решітки, густина дислокацій, розмір областей когерентного розсіювання, величина викривлень кристалічної решітки другого роду) визначали з використанням методик рентгенівського структурного аналізу. **Результати.** При експлуатації залізничних коліс різного рівня міцності виникнення ушкоджень на поверхні кочення обумовлене від одночасної дії сил тертя та циклічно змінних навантажень. Вважаючи, що формування осередків руйнування в значній мірі визначається станом об'ємів металу поблизу з поверхнею кочення залізничного колеса, слід очікувати відмінностей в розвитку процесів тертя при високій контактній напрузі для коліс з різним рівнем міцності і структурним станом. **Наукова новизна.** В процесі випробувань на зношування був отриманий ефект пом'якшення вуглецевої сталі з структурою після гартування на мартенсит. Зниження твердості склало значення від 3,5 до 7 % від рівня стану металу після гартування. Ефект пом'якшення супроводжувався зниженням ступеню тетрагональності кристалічної решітки мартенситу, подрібненням областей когерентного розсіювання, збільшенням густини дислокацій і викривлень кристалічної решітки другого роду. **Практична значимість.** Отримані результати указують на необхідність продовження досліджень стосовно уточнення механізму отриманого ефекту пом'якшення.

Ключові слова: вуглецева сталь; залізничне колесо; твердість; мартенсит; ступінь тетрагональності; кристалічна решітка

Вступ

Аналіз відомих експериментальних даних свідчить, що найбільш високий рівень напружень досягається в об'ємах ободу залізничного колеса в безпосередній близькості від місця контакту з рейкою [9, 2]. Результати розрахунків [10] та відомі експериментальні данні [12, 14] свідчать, що у переважній більшості випадків рівень контактних напружень може не тільки досягати, але і перебільшувати величину на-

пруження плинності металу. З урахуванням розвитку процесів деформаційного зміцнення слід очікувати достатньо швидкого досягнення критичних значень дефектів кристалічної будови і формування зародку ушкодження металу на поверхні кочення. Однак, локальний характер пластичної деформації, циклічна зміна розвитку процесів зміцнення та пом'якшення по площині контакту з рейкою [2, 10], супроводжуються неоднорідними ефектами перерозподілу дефектів кристалічної будови металу. Наведений стан розвитку процесів внутрішньої

перебудови не дозволяє достатньо довго досягати умов зародження осередків руйнування.

З іншого боку, поступовий характер накопичення дефектів внутрішньої будови металу і, в першу чергу, дислокацій, може порушуватися за рахунок випадкових зовнішніх впливів при експлуатації колеса. Такі впливання по рівню та тривалості дії можуть у значній ступені перебільшувати обмеження, які передбачені нормативно-технічною документацією. Достатньо часто непередбачуваний характер зовнішніх впливань може в значній ступені перекручувати схематичні уявлення щодо розвитку процесів структурних змін в металі колеса. На основі цього ресурс експлуатації залізничного колеса може в значній ступені відрізнятись від реального. Таким чином, визначення особливостей поведінки металу залізничного колеса після формування осередків зі структурами зсуву має певне наукове значення.

Мета і задачі

Метою роботи являється оцінка ступеню зміни твердості металу залізничного колеса з структурою мартенситу під час кочення. Матеріалом для дослідження була вибрана вуглецева сталь фрагмента ободу залізничного колеса, вилученого після експлуатації, з 0,55 % C, 0,74 % Mn, 0,33 % Si, 0,009 % P, 0,01 % S, 0,06 % Ni, 0,1 % Cr, 0,08 % Cu. Мартенситна структура в сталі була отримана прискореним охолодженням із швидкістю, вищою за критичне значення нормальних температур нагріву.

Методика

В якості характеристики міцності була використана твердість за Роквеллом. Випробування на зношування проводили при накатуванні зразка контрзразком, за умови нормального навантаження, з просковзуванням (10 %) і без просковзування, на випробувальному устаткуванні СМЦ-2. Параметри тонкої кристалічної будови (ступінь тетрагональності кристалічної ґратки, густина дислокацій, розмір областей когерентного розсіювання, величина викривлень кристалічної решітки другого роду) визначали з використанням методик рентгеновського структурного аналізу [4].

Результати дослідження

При експлуатації залізничних коліс різного рівня міцності виникнення ушкоджень на поверхні кочення, обумовлене одночасною дією сил тертя та циклічно змінних навантажень [2, 10]. Вважаючи, що формування осередків руйнування в значній мірі визначається станом об'ємів металу поблизу з поверхнею кочення залізничного колеса [5, 7], слід очікувати відмінностей в розвитку процесів тертя при високій контактній нарузі [10] для коліс із різним рівнем міцності і структурним станом.

Враховуючи тенденцію отримання високоміцних коліс в результаті зміцнюючих термічних обробок, коли внутрішня будова металу на поверхні колеса практично відповідає структурному стану після гартування і відпуску при температурах 400...450 °С, процеси зношування повинні мати відмінності в порівнянні із зношуванням металу зі структурою пластинчастого цементиту. Більш того, відомі випадки зародження поверхневих пошкоджень по ділянках «білого шару» на поверхні кочення можуть розглядатися як свого роду підтвердження зміни характеру поведінки металу при навантаженні після формування структур за механізмом зсуву.

Вуглецева сталь залізничного колеса після експлуатації мала твердість на поверхні кочення приблизно на рівні 35...37 одиниць HRC, що відповідає холодно-деформованому стану. Після гартування від нормальних температур нагріву отримали, на зразках для випробувальної машини СМЦ-2, твердість 62 HRC.

При випробуваннях на зношування, зразок піддавали нормальному вантаженню 18 кг, при швидкості оборотів шпинделя 300 min^{-1} . За умови випробувань без просковзування, вже після 1 200 циклів навантаження, було визначене зниження твердості від 5 до 7 % в порівнянні з станом металу після гартування. З метою визначення причин розвитку процесу пом'якшення було проведено дослідження параметрів тонкої кристалічної будови металу.

Так, у стані після загартування на мартенсит (рис. 1) вуглецева сталь, за рахунок формування визначеної структури, має достатньо високий рівень міцності (твердості) та крихкості. В порівнянні з кубічною об'ємно-центрованою кристалічною ґраткою фериту, кристали мартенситу мають ґратку, яку характеризують

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ступенем тетрагональності. Величина тетрагональності кристалічної ґратки являє собою відношення більшого ребра кубу \tilde{a} до меншого \tilde{a} (рис. 2).



Рис. 1. Характерний приклад мартенситної структури вуглецевої сталі [5]

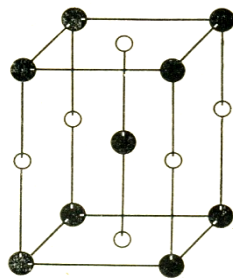


Рис. 2. Схематичне зображення кристалічної решітки мартенситної фази (○ – розташування атомів вуглецю, ● – положення атомів заліза)

Для більшого розуміння експериментальних даних стосовно отриманого ефекту пом'якшення загартованої вуглецевої сталі при накатуванні розглянемо основні положення, що стосуються процесу формування мартенситного кристалу. Так, по-перше, мартенситний кристал являє собою пересичений твердий розчин атомів вуглецю в α -залізі, а величини ребер \tilde{a} і \tilde{a} та зв'язана з ними ступінь тетрагональності, визначаються вмістом вуглецю в сталі. Таким чином, чим більшою буде концентрація вуглецю в сталі, тим вищою за рівнем повинна бути твердість вуглецю після гартування. Обумовлене це тим, що після нагріву до температур аустенітного стану, весь вуглець розчиняється в аустеніті. Далі, після охолодження зі швидкістю вищою за критичне значення, при перетворенні аустеніту в мартенсит, кількість розчинених атомів вуглецю в аустеніті і визначає ступінь тетрагональності кристалічної ґратки кри-

сталів мартенситу. Розташування атомів вуглецю у міжвузлях ґратки α -заліза (світлі кружки на рис. 2) буде супроводжуватися неодмінними викривленнями ґратки. Обумовлене наведене положення тим фактом, що сума діаметрів сусідніх атомів вуглецю і заліза перебільшує розмір ребра кубу елементарної чарунки кристалічної решітки α -заліза. Більше цього, як визначене експериментально [4, 11], збільшення концентрації атомів вуглецю супроводжується не тільки зростанням величини \tilde{a} , але і одночасним зменшенням параметру \tilde{a} .

В залежності від концентрації вуглецю в сталі, ступінь тетрагональності після гартування на мартенсит оцінюється за співвідношенням [5]:

$$\frac{\tilde{a}}{\tilde{a}} = 1 + 0,045 p, \quad (1)$$

де p – ваговий % вуглецю в сталі.

Деформація кристалічної ґратки заліза і обумовлює досягнення підвищеного рівня твердості металу. Отже, чим в менший ступені відбувається проміжне виділення атомів вуглецю з аустеніту при формуванні мартенситних кристалів, тим вище повинен бути рівень властивостей міцності після гартування.

Підставляючи в (1) експериментально визначені параметри \tilde{a} і \tilde{a} досліджуваної сталі концентрацію вуглецю, вирахуване значення ступеню тетрагональності складає 1,027. Порівняльний аналіз з відомими значеннями показав достатньо добрий збіг [4, 11], що може розглядатись як свідчення якісного гартування.

Після 1 200 циклів накатування без просковзування, ступінь тетрагональності кристалічної ґратки загартованої вуглецевої сталі знизилася на 0,15 % і склала значення 1,0255. Зниження ступеня тетрагональності кристалічної ґратки в процесі контактного навантаження при накатуванні являє собою підтвердження невідповідності характеру спостерігаемого зниження твердості. На підставі цього можна вважати, що

зменшення відношення $\frac{c}{a}$ є одним з головних

факторів, які обумовлюють розвиток процесів пом'якшення загартованої сталі. Також, були отримані результати аналогічні за характером, при випробуваннях на розтягування загартованих середньовуглецевих сталей [13]. В цій роботі показано, що під впливом незначних плас-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

тичних деформацій при розтяганні (на рівні межі плинності) може бути досягнутий рівень пом'якшення до 30 % від міцності металу після гартування.

Для визначення механізму ефекту пом'якшення вуглецевої сталі з мартенситною структурою після накатування скористаємось співвідношенням (1). Після підстановки в (1) значення величини $\frac{c}{a} = 1,0255$ вираховали, що величина p вже не відповідає змісту вуглецю 0,62 %, а стала рівною 0,56 %. Таким чином, можна з упевненістю вважати, що вже після незначних пластичних деформацій виділення атомів вуглецю з позицій впровадження кристалічної ґратки мартенситних кристалів при накатуванні, являється однією з причин зниження твердості загартованої сталі.

Аналіз інших параметрів тонкої кристалічної будови показав, що процес пом'якшення при накатуванні має свої відмінності в порівнянні з іншими технологіями зниження властивостей міцності.

Дійсно, якщо розглянути процеси пом'якшення холодно-деформованої вуглецевої сталі, нагрів до температур вище 500...550 °C супроводжуються збільшенням розміру областей когерентного розсіювання (L), зменшенням кількості дефектів кристалічної будови, в першу чергу, дислокацій, і зниженням викривлень II роду [6, 8, 14]. Однак, в результаті накатування пом'якшення сталі супроводжувалося зменшенням величини L , приблизно на 30 %: від 618 до 445 Å, збільшенням густини дислокацій (ρ) на 19 %: від $96,5 \cdot 10^{10}$ до $118,5 \cdot 10^{10} \text{ cм}^{-2}$ і викривлень другого роду (μ): від $1,98 \cdot 10^{-4}$ до $1,66 \cdot 10^{-3}$. Таким чином, характер зміни вказаних величин відповідає скоріше зміцненню металу в результаті холодної пластичної деформації [2, 4, 7]. На підставі цього можна з упевненістю вважати, що зміна параметрів кристалічної будови металу є результатом сумісного розвитку процесів зміцнення і пом'якшення від контактних явищ при накатуванні. Підтверджують представлені положення результати випробувань при більш жорстких умовах навантаження при накатуванні. З цією метою процес накатування проводили з додатковим просковзуванням між зразком і контрзразком на

рівні 10 %.

Вважаючи, що за рахунок додаткового просковзування повинна підвищитись інтенсивність розвитку процесів деформаційного зміцнення, в результаті чого слід було б очікувати збільшення ролі процесів зміцнення в порівнянні з пом'якшенням. Дійсно, вже після 600 циклів навантаження з просковзуванням 10%, величина твердості склала значення 62,5 HRC, при $L=504 \text{ Å}$, $\mu=2,6 \cdot 10^{-3}$, $\rho=14,7 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$.

Порівняльний аналіз отриманих результатів свідчить, що хоча зниження твердості загартованого металу після накатування з просковзуванням і стало меншим (лише 3,5 % від стану після гартування), характер зміни параметрів тонкокристалічної будови залишився, як і для умов накатування без просковзування, незмінним. Зниження ступеню тетрагональності кристалічної ґратки мартенситної фази супроводжувалося диспергуванням областей когерентного розсіювання, зростанням μ і ρ . З іншого боку, слід відмітити, що декілька менший рівень пом'якшення може бути пов'язаним із зменшенням в два рази кількості циклів навантаження при випробуваннях з просковзуванням.

На підставі аналізу отриманих результатів можна говорити про існування хоч би якісної залежності розвитку процесів пом'якшення від умов навантаження вуглецевої сталі після гартування. Достатньо складний сумісний вплив температури нагріву [3, 6], швидкості та ступеню деформації [1, 8] на розвиток процесів зміцнення і пом'якшення значної кількості вуглецевих та низьколегованих сталей з різним структурним станом указує, що слід очікувати існування екстремуму на залежності властивостей металу. Іншими словами, за умови одночасного зростання складності схеми навантаження і ступеня пластичної деформації при експлуатації залізничних коліс, збільшення ефекту пом'якшення сталі можна спостерігати лише до певної величини деформації. Далі, за всіх незмінних умов, ефект може почати зменшуватися.

При реальних умовах експлуатації залізничних коліс, достатньо складна картина структурних змін в металі колеса при навантаженні може приводити до якісних змін в співвідношенні між етапами зміцнення і пом'якшення. Дійсно, якщо урахувати, що дослідження процесів пом'якшення при накатуванні сталі зі

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

структурою після гартування проводилися приблизно при постійній температурі навколишнього середовища, то підвищення температури може внести корективи в рівень отриманих ефектів. Як показано в [1], вже після відносно незначного нагріву, наприклад, до температур 200...350 °С, в вуглецевих сталях після холодної пластичної деформації починається розвиток процесів статичного і динамічного деформаційного старіння. Внаслідок цього відбувається різке зниження пластичних властивостей до дуже низьких значень, зростання крихкості металу.

Таким чином, ураховуючи неодмінний розгрів металу колеса на поверхні кочення і велику неоднорідність розподілу пластичної деформації, в баланс між ефектами зміцнення і пом'якшення можуть вносити свій вклад і процеси деформаційного старіння. Особливого значення указані процеси будуть мати після формування ділянок «білого шару». Для залізничних коліс високої міцності, коли вірогідність формування повзунів зростає, зміна співвідношення між процесами зміцнення і знеміцнювання в різних об'ємах металу повзуна приводить лише до зростання відмінностей в рівні властивостей металу.

Висновки

1. В процесі випробувань на зношування за умови нормального навантаження з просковзуванням (10 %) і без нього був отриманий ефект пом'якшення вуглецевої сталі зі структурою після гартування на мартенсит.

2. В залежності від умов навантаження, зниження твердості складало значення від 3,5 до 7 % від рівня стану металу після гартування.

3. Ефект пом'якшення супроводжується зниженням ступеню тетрагональності кристалічної ґратки мартенситу, подрібненням областей когерентного розсіювання, збільшенням густини дислокацій і викривлень кристалічної ґратки другого роду.

4. Отримані результати указують на необхідність продовження досліджень стосовно уточнення механізму отриманого ефекту пом'якшення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабич, В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М. : Металлургия, 1972. – 320 с.
2. Вакуленко, І. О. Дефекти залізничних коліс / І. О. Вакуленко, В. Г. Анофрієв, М. А. Грищенко. – Д. : Маковецький, 2009. – 112 с.
3. Джугутов, М. Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов / М. Я. Джугутов. – М. : Металлургия, 1978. – 256 с.
4. Курдюмов, Г. В. Превращения в железе и стали / Г. В. Курдюмов, Л. М. Утевский, Р. И. Энтин. – М. : Наука, 1977. – 236 с.
5. Куслицкий, А. Б. Неметаллические включения и усталость стали / А. Б. Куслицкий. – К. : Техніка, 1976. – 128 с.
6. Ларионов, В. П. Хладостойкость и износ деталей машин и сварных конструкций / В. П. Ларионов, В. А. Ковальчук. – Новосибирск : Наука, 1976. – 206 с.
7. Механика разрушения и прочность материалов : справочное пособие в 4 т. Т. 4. Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов / О. Н. Романив, С. Я. Ярема, Г. Н. Никифорчин [и др.] ; под общ. ред В. В. Понасюка. – К. : Наук. думка. – 1990. – 680 с.
8. Нотт, Дж. Ф. Основы механики разрушения / Дж. Ф. Нотт. – М. : Металлургия, 1978. – 256 с.
9. Структура та опір руйнуванню сталей в різних зонах залізничних коліс / І. М. Андрейко, О. П. Осташ, В. В. Кулик, О. І. Бабаченко, В. В. Віра // Машинознавство. – 2008. – № 5. – С. 18–21.
10. Шадур, Л. А. Вагоны / Л. А. Шадур, И. И. Челноков, Л. Н. Никольский и др. – М. : Транспорт, 1980. – 439 с.
11. Шмыков, А. А. Справочник термиста / А. А. Шмыков. – М. : ГНТИ, 1952. – 287 с.
12. Andrea, G. Linea innovativa di trattamento termico di ruote ferroviarie. Risultati di processo e prodotto di esercizio / G. Andrea, C. Stefano, C. Massimo // Ing. Ferroviaria. – 2004. – Vol. 59, № 9. – P.729–742.
13. Breyer, N. N. The yield – point phenomenon in strain – aged martensite / N. N. Breyer // Transactions of the Metallurgical Society of AIME. – 1966. – Vol. 236, № 8. – P.1198–1202.
14. Paul, B. User's Manual for Program CONTACT / B. Paul, J. Hashemi ; Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, University of Pennsylvania. – Washington, 1977. – 33 p.

И. А. ВАКУЛЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373 15 56, эл. почта dnyzt_texmat@ukr.net

ВЫЯСНЕНИЕ МЕХАНИЗМА ИЗНАШИВАНИЯ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ С МАРТЕНСИТНОЙ СТРУКТУРОЙ

Цель. Целью работы является оценка степени изменения твердости металла железнодорожного колеса со структурой мартенсита при качении. **Методика.** В качестве характеристики прочности была использована твердость по Роквеллу. Испытания на изнашивание проводили при условиях нормальной нагрузки, с проскальзыванием (10 %) и без проскальзывания, на испытательном оборудовании СМЦ-2. Параметры тонкого кристаллического строения (степень тетрагональности кристаллической решетки, плотность дислокаций, размер областей когерентного рассеивания, величина искажений кристаллической решетки второго рода) определяли с использованием методик рентгеновского структурного анализа. **Результаты.** При эксплуатации железнодорожных колес разного уровня прочности возникновение повреждений на поверхности катания обусловлено от одновременного действия сил трения и циклически меняющихся нагрузок. Считая, что формирование очагов разрушения в значительной степени определяется состоянием объемов металла вблизи с поверхностью катания железнодорожного колеса, следует ожидать различий в развитии процессов трения при высоком контактном напряжении для колес с разным уровнем прочности и структурным состоянием. **Научная новизна.** В процессе испытаний на изнашивание был получен эффект разупрочнения углеродистой стали со структурой закалки на мартенсит. Снижение твердости составило значения от 3,5 до 7 % от уровня закаленного металла. Эффект разупрочнения сопровождался снижением степени тетрагональности кристаллической решетки мартенсита, измельчением областей когерентного рассеивания, увеличением плотности дислокаций и искажений кристаллической решетки второго рода. **Практическая значимость.** Полученные результаты указывают на необходимость продолжения исследований по уточнению механизма полученного эффекта разупрочнения.

Ключевые слова: углеродная сталь; железнодорожное колесо; твердость; мартенсит; степень тетрагональности; кристаллическая решетка

I. A. VAKULENKO^{1*}

^{1*}Dep. "Materials Technology", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnyzt_texmat@ukr.net

ELUCIDATION OF MECHANISM WEAR CARBON STEEL WITH STRUCTURE OF MARTENSITE

Purpose. The purpose of the paper is an estimation of degree of metal hardness change for the railway wheel with martensite structure during rolling. **Methodology.** As strength characteristic the Rockwell hardness is used. Wear tests were conducted in the conditions of normal loading with (10 %) and without sliding on the test equipment SMTs-2. Parameters of the fine crystalline structure (tetragonality degree of the crystalline grid, dislocation density, scale of coherent scattering regions, and disturbance value of the crystalline grid of second kind) are determined by the methods of X-ray structural analysis. **Findings.** During operation of the railway wheels with different strength level, origin of defects on the wheel thread is caused by simultaneous action of both the friction forces and the cyclically changing loadings. Considering that formation of damage centers is largely determined by the state of metal volumes near the wheel thread, one should expect the differences in friction processes development at high contact stress for the wheels with different strength level and structural state. **Originality.** During the wear tests softening effect of carbon steel with martensite quenching structure is obtained. Softening effect equaled 3.5–7 % from the level of quenched metal hardness. The softening effect is accompanied by the reduction of tetragonality degree of the crystalline structure of martensite, reduction of coherent scattering regions, dislocation density increase and crystalline grid disturbance of the second kind. **Practical value.** The results point out the necessity for further studies to clarify the resulted softening effect mechanism.

Key words: carbon steel; railway wheel; hardness; martensite; degree of tetragonality; crystalline lattice

REFERENCES

1. Babich V.K., Gul Yu.P., Dolzhenkov I.Ye. *Deformatsionnoe starenie stali* [Strain aging of the steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972. – 320 p.
2. Vakulenko I.O., Anofriev V.H., Hryshchenko M.A. *Defekty zaliznychnykh kolis* [Railway wheels faults]. Dnepropetrovsk, Makovetskyi Publ., 2009. 112 p.
3. Dzhugutov M.Ya. *Plasticheskaya deformatsiya vysokolegirovannykh staley i splavov* [Plastic deformation of the high-alloy steels and alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 256 p.
4. Kurdyumov G.V., Utevskiy L.M., Entin R.I. *Prevrashcheniya v zheleze i stali* [Transformations in iron and steel]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 236 p.
5. Kuslitskiy A.B. *Nemetallicheskie vklucheniya i ustalost stali* [Non-metallic inclusions and steel fatigue]. Kyiv, Tekhnika Publ., 1976. 128 p.
6. Larionov V.P., Kovalchuk V.A. *Khladostoykost i iznos detaley mashin i svarykh konstruksiy* [Cold resistance and wear of the machine parts and welded constructions]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1976. 206 p.
7. Romaniv O.N., Yarema S.Ya., Nikiforhin G.N., Ponasyuk V.V. *Mekhanika razrusheniya i prochnost materialov. T.4: Ustalost i tsiklicheskaya treshchinostoykost konstruksionnykh materialov* (Fracture mechanics. Vol. 4: Fatigue and cyclic crack resistance of structural materials). Kyiv, Naukova dumka Publ., 1990. 680 p.
8. Dzh. F. Nott *Osnovy mekhaniki razrusheniya* [Foundations of the fracture mechanics]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 256 p.
9. Andreiko I.M., Ostash O.P., Kulyk V.V., Babachenko O.I., Vira V.V. *Struktura ta opir ruynuvanniu stali v riznykh zonakh zaliznychnykh kolis* [Structure and resistance to steel destruction in different rail wheel zones]. *Mashynoznavstvo – Machine Science*, 2008, no. 5, pp.18-21.
10. Shadur L.A., Chelnokov I.I., Nikolskiy L.N. *Vagony* [Cars]. Moscow, Transport Publ., 1980. 439 p.
11. Shmykov A.A. *Spravochnik termista* [Guide of the heat-treater]. Moscow, GNTI Publ., 1952. 287 p.
12. Andrea G., Stefano C., Massimo C. *Linea innovativa di trattamento termico di ruote ferroviarie. Risultati di processo e prodotto di esercizio. Ing. Ferrov*, 2004, vol. 59, no. 9. pp.729-742.
13. Breyer N.N. The yield – point phenomenon in strain – aged martensite. *Transactions of the Metallurgical Society of AIME*, 1966, vol. 236, no. 8, pp.1198-1202.
14. Paul B., Hashemi J. *User's Manual for Program CONTACT*. Washington, 1977. 33 p.

Стаття рекомендована до публікації к.т.н., доц. С. В. Проїдаком (Україна); к.т.н., доц. О. А. Чайковським

Надійшла до редколегії 05.03.2013

Прийнята до друку 10.04.2013

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 539.2:544.654.2.032.65

В. В. ДУДКИНА^{1*}

^{1*}Каф. «Фізика», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна, 49010, Дніпропетровськ, Україна, ул. Лазаряна, 2, тел. +38 (067) 359 60 59, ел. пошта dudkina2@ukr.net

АДГЕЗИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ НИКЕЛЕВЫХ И ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ С МЕДНОЙ ОСНОВОЙ, ЭЛЕКТРООСАЖДЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕЙ СТИМУЛЯЦИИ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Цель. Исследование влияния лазерного излучения на прочность сцепления никелевых и цинковых покрытий с медной основой и изучение начальных стадий кристаллизации пленок никеля и цинка. **Методика.** Электроосаждение никелевых и цинковых пленок из стандартных сульфатных растворов электролитов осуществлялось на лазерно-электролитических установках, построенных на базе газоразрядного CO₂-лазера и твердотельного рубинового лазера КВАНТ-12. Адгезионную прочность металлических покрытий с основой определяли качественно (методом нанесения сетки царапин и методом многократного изгиба) и количественно (путем вдавливания алмазной пирамиды в границу раздела «покрытие-основа» на боковом шлифе). Спектральный микроанализ элементного состава границы раздела «пленка-подложка» производился на РЕММА-102-02. **Результаты.** Применение лазерного облучения прикатодной области в процессе электроосаждения металлических покрытий способствует повышению прочности сцепления покрытий с основой. Результаты испытаний адгезионной прочности пленок и спектральный микроанализ элементного состава границы раздела «пленка-подложка» показали, что при лазерно-стимулированном электроосаждении имеет место диффузионное взаимодействие между элементами покрытия и поверхностью основного металла, в результате которого металл покрытия диффундирует в основной металл, образуя переходной диффузионный слой, способствующий повышению прочности сцепления покрытий с основой. **Научная новизна.** Установлено, что увеличение энергии ионов в двойном электрическом слое при взаимодействии с лазерным излучением влияет на величину катодного пресыщения на стадии кристаллизации, а, следовательно, на глубину проникновения ионов осаждаемого металла в основной металл, что приводит к возрастанию адгезионной прочности. **Практическая значимость.** На основании результатов исследования структуры и механических свойств никелевых и цинковых металлических пленок, полученных при лазерно-стимулированном режиме электроосаждения, установлена их связь с параметрами лазерного излучения. Применение лазерного излучения позволяет, в зависимости от режима электроосаждения (гальваностатического или потенциостатического), получать как равновесную структуру, так и наоборот, формировать более неравновесную структуру.

Ключевые слова: лазерно-стимулированное электроосаждение; адгезионная прочность; твердый раствор; микрорентгеноспектральный анализ; энергия ионов

Введение

В настоящее время проблема повышения прочности и коррозионной стойкости, улучшения защитно-декоративных свойств материалов остается актуальной. Одним из способов решения этой проблемы является нанесение на поверхность материалов металлических пленок. Развитие микроэлектроники ведет к необходимости разработки новых и улучшенных процессов производства тонкопленочных материалов с необходимым комплексом физических свойств и улучшению существующих. Процесс электроосаждения, стимулированный лазерным излучением с целью ускорения процесса элек-

трометаллизации, является предметом повышенного интереса индустрии модификации металлических покрытий [8, 15]. В процессе производства микроэлектронных устройств существующие процессы создания сложных металлизированных структур требуют внедрения нескольких особенно сложных этапов по изготовлению масок, процесса фотолитографии и т.д. Это повышает сложность контроля над процессами и стоимость производства. Технология нанесения металлических покрытий с помощью лазера является весьма многообещающей, особенно в случае быстрого избирательного нанесения пленок [2, 4, 12].

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Актуальность исследования адгезионных свойств электроосажденных покрытий заключается в том, что прочность сцепления является важнейшей эксплуатационной характеристикой покрытий. Особенно важен уровень адгезионной прочности в ответственных узлах, где применяются локальные электролитические покрытия никеля и цинка. В связи с этим важное значение приобретает выявления степени влияния лазерного излучения на адгезионную прочность электроосаждаемых покрытий.

На адгезионную прочность электроосаждаемых покрытий с подложкой значительное влияние оказывает переходной слой между подложкой и пленкой, структура которого полностью определяется начальными стадиями кристаллизации. Именно начальные стадии электрокристаллизации влияют на формирование текстуры, размер кристаллитов, количество дефектов, а, следовательно, и на механические свойства электроосажденных пленок [6, 7].

При электрокристаллизации с большими перенапряжениями на катоде наблюдается механизм прямого встраивания, при котором каждый адсорбированный на подложке атом осаждаемого металла является центром роста новой фазы [13], кроме того, ад-атом может диффундировать в подложку [14], тем самым образуя, например, диффузионный слой, состоящий из атомов подложки и атомов кристаллизующего на подложке металла.

Цель и задачи исследования

Цель работы заключалась в исследовании влияния лазерного излучения на прочность сцепления никелевых и цинковых покрытий с медной основой.

Поставленная цель достигалась путем решения следующих задач:

- определения оптимальных условий лазерно-стимулированного электроосаждения металлических пленок Ni и Zn;
- исследование адгезионной прочности никелевых и цинковых покрытий с медной основой;
- исследование начальных стадий кристаллизации пленок никеля и цинка.

Материалы и методика

Электроосаждение никелевых и цинковых пленок из стандартных сульфатных растворов электролитов осуществлялось на лазерно-

электролитических установках, построенных на базе газоразрядного CO₂-лазера и твердотельного рубинового лазера КВАНТ-12. Электроосаждение покрытий проводили при внешнем воздействии излучениями газоразрядного CO₂-лазера, генерирующего в непрерывном режиме на длине волны равной 10,6 мкм при мощности лазерного излучения 25 Вт, и твердотельного рубинового лазера КВАНТ-12, излучающего в импульсно-периодическом режиме на длине волны равной 694 нм при интенсивности $70 \cdot 10^7$ Вт/м².

Адгезионную прочность никелевых и цинковых покрытий с медной основой определяли качественно: 1) методом нанесения сетки царапин по ГОСТ 16875-71; 2) методом многократного изгиба по ГОСТ 9.302-88.

Для получения количественной оценки прочности сцепления покрытий с основой образцы были подвергнуты испытанию путем вдавливания алмазной пирамиды в границу раздела «покрытие-основа» на боковом шлифе [10].

Результаты испытаний адгезионной прочности вышеописанными методами усредняли по пяти образцам.

Спектральный микроанализ элементного состава границы раздела «пленка-подложка» производился в десяти точках поверхности торцевого шлифа (через 1 мкм) на РЕММА-102-02 с разрешающей способностью 5 нм.

Катодное перенапряжение определяли из потенциодинамических вольтамперных кривых, полученных с помощью потенциостата П-5827 М. Измерения выполняли в электрохимической ячейке ЯСЭ-2. Электрохимический контакт между изучаемым электродом и электродом сравнения осуществляли через капилляр Луггина. Значение электродного потенциала фиксировали относительно насыщенного хлорсеребряного электрода типа ЭВЛ-1МХ.

Результаты и обсуждение

В работах [1, 3] отмечено, что непосредственно после никелирования покрытия малопластичны и слабо сцеплены с основой. Нагрев никелированных деталей в диапазоне температур 200...400° приводит к некоторому снижению хрупкости покрытий и улучшению их адгезии.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Известны способы термической обработки деталей с гальваническими никелевыми покрытиями, включающие многоступенчатый нагрев деталей до заданной температуры [5], а также способ, включающий предварительную термообработку заготовки с последующим охлаждением, электроосаждение никелевого гальванического покрытия и диффузионный отжиг изделий с покрытием их в вакууме [9]. Однако указанные способы получения прочносцепленных гальванических покрытий не обеспечивает сохранение внешнего вида никелевых покрытий.

Результаты проведенных исследований влияния лазерного излучения на структуру и свойства никелевых и цинковых покрытий свидетельствуют о возможности повышения адгезии электроосажденных покрытий с медной основой.

Испытания сцепляемости никелевых и цинковых покрытий толщиной 15...20 мкм путем перегибания образцов на 180° (до излома) показали, что на образцах, электроосажденных при постоянном токе и температуре раствора электролита 293 К, покрытия отслаивались вдоль всей линии излома. При повышении температуры водных растворов электролитов никелирования и цинкования соответственно на 58 К и 63 К на образцах покрытие отслаивалось на 50...60 % длины линии излома. На образцах, электроосажденных при лазерном облучении, покрытия не растрескиваются и не отслаиваются при изгибе медной основы до излома. Результаты определения адгезионной прочности пленок приведены в табл. 1. Показателем, характеризующим адгезию пленок, является число циклов изгиба.

Измерения прочности сцепления покрытий с основой методом нанесения сетки царапин подтверждают малую прочность сцепления покрытий с основой, электроосажденных при температуре 293 К, и повышение адгезионной прочности пленок, электроосажденных при лазерном облучении. Так, при нанесении на покрытия, электроосажденные при температуре 293 К, сетки перекрещивающихся рисок, покрытия вспучиваются и отслаиваются от основы. Увеличение температуры водных растворов электролитов никелирования и цинкования соответственно на 58 К и 63 К повышает адгезию

электроосажденных покрытий с основой: отслаивание в местах пересечения рисок происходит менее интенсивно, чем в предыдущем случае. Испытания покрытий, электроосажденных при лазерном облучении, показали, что покрытия царапаются, но отслаивания в местах пересечения рисок нет.

Таблица 1

Зависимость адгезионной прочности пленок от режима электроосаждения

Режим осаждения	Температура раствора, К	Число циклов изгиба
	Ni; Zn	
постоянный ток	293; 293	2,5; 3
постоянный ток	351; 356	5; 6
лазерно-стимулированный	351; 356	8; 8

Из результатов испытания на адгезию путем вдавливания алмазной пирамиды в границу раздела «покрытие-основа» на боковом шлифе следует, что при переходе от режима осаждения на постоянном токе к ЛСЭО значение адгезионной прочности пленок никеля и цинка увеличивается соответственно от 300 МПа до 620 МПа и от 230 МПа до 400 МПа.

Таким образом, применение лазерного облучения прикатодной области в процессе электроосаждения металлических покрытий способствует повышению прочности сцепления покрытий с основой. Результаты испытаний адгезионной прочности пленок дают основания предположить, что при ЛСЭО имеет место диффузионное взаимодействие между элементами покрытия и поверхностью основного металла. В результате такого взаимодействия никель, в одном случае, или цинк, в другом случае, диффундирует в основной металл, образуя переходной диффузионный слой, способствующий повышению прочности сцепления покрытий с основой. С целью проверки этого предположения был проведен микрорентгеноспектральный анализ переходной области «пленка-подложка» (рис. 1).

На рис. 2 приведены результаты микрорентгеноспектрального анализа, проведенного в точке на границе переходной области «пленка-подложка».

Результаты исследования содержания никеля и цинка в переходной области «пленка-подложка» и глубина проникновения элементов

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

покрытия в основной материал (медь) представлены на рис. 3 и 4.

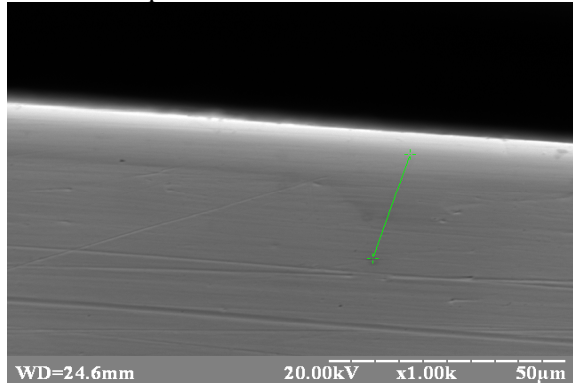


Рис. 1 Сканирование переходной области пленка-подложка

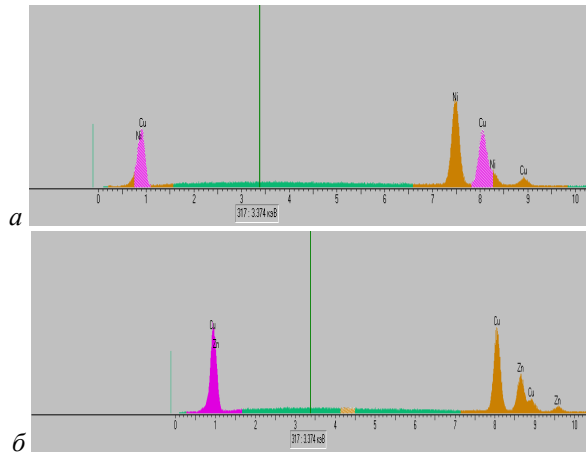


Рис. 2 Кривые распределения интенсивности характеристического излучения при определении концентрации: а) Ni в Cu; б) Zn в Cu

Из анализа зависимостей концентрации диффундирующего элемента от глубины проникновения (рис. 3 и 4) следует, что при увеличении температуры водных растворов электролитов глубина проникновения осаждаемого металла в основной металл увеличивается незначительно в сравнении с лазерно-стимулированным режимом электроосаждения.

На формирование структуры в пленках никеля и цинка, полученных при лазерно-стимулированном электроосаждении, наряду с температурным фактором, значительное влияние оказывает действие лазерного излучения на стадии разряда ионов металла, что способствует образованию более крупнокристаллических структур при гальваностатическом режиме

электроосаждения. Это связано с уменьшением общего катодного перенапряжения от 0,62 В до 0,14 В для никеля и от 0,18 В до 0,04 В для цинка и увеличение ВТМ соответственно от 63 до 86 % и от 88 до 95 %. При этом формируется более крупнокристаллическое покрытие. При переходе от режима электроосаждения с помощью постоянного тока без лазерного облучения к ЛСЭО при постоянном значении плотности тока размер кристаллитов увеличивается от 3,34 мкм до 10,40 мкм для никеля и от 4,20 мкм до 13,55 мкм для цинка.

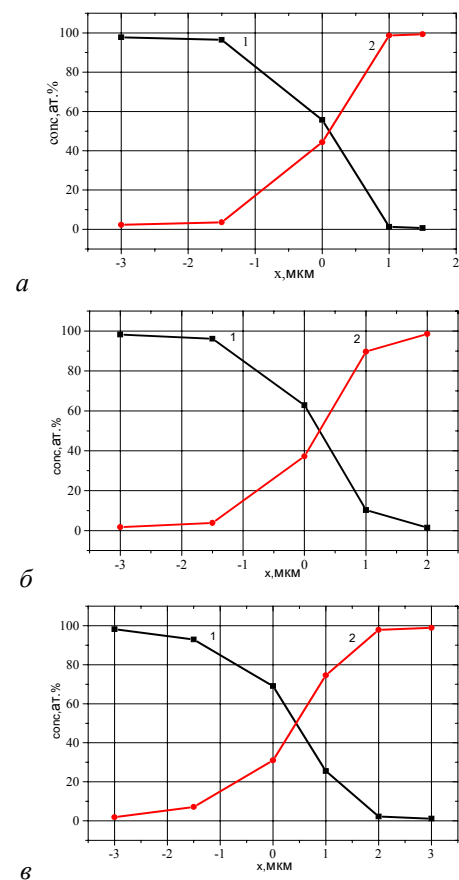


Рис. 3 Зависимость концентрации диффундирующего (1 – Ni) и основного (2 – Cu) металлов от глубины проникновения. Режим осаждения: постоянный ток:
а) T=293 К; б) T=351 К; в) лазерно-стимулированный

Отличительной особенностью процесса электроосаждения при потенциостатическом ЛСЭО является большая неравновесность в стадии кристаллизации и в процессе роста пленок никеля, что связано с увеличением общего катодного перенапряжения от 0,62 В до 0,67 В

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

по сравнению с режимом электроосаждения с помощью постоянного тока без лазерного облучения. При потенциостатическом ЛСЭО пленок никеля размер кристаллитов уменьшается от 6,90 мкм до 3,10 мкм.

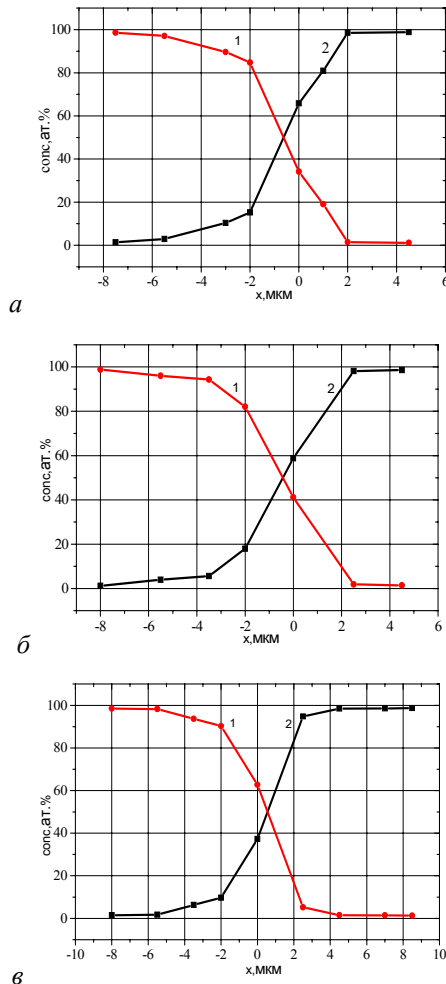


Рис. 4 Зависимость концентрации диффундирующего (1 – Zn) и основного (2 – Cu) металлов от глубины проникновения.

Режим осаждения: постоянный ток:

а) T=293 K; б) T=356 K; в) лазерно-стимулированный

С целью определения влияния лазерного излучения на процесс образования новой фазы рассмотрено действие лазерного излучения на стадии разряда ионов металлов. Для этого были получены потенциостатические зависимости (рис. 5, 6), которые описываются уравнением замедленного разряда [11]:

$$j = j_0 \cdot \exp\left[-\frac{\alpha z F \eta}{RT}\right], \quad (1)$$

где α – коэффициент переноса, η – катодное перенапряжение, j_0 – плотность тока обмена, R – универсальная газовая постоянная, z – заряд ионов, F – постоянная Фарадея, T – абсолютная температура.

Под действием внешнего электрического поля положительные ионы металла в водном растворе электролита движутся к катоду. Полная энергия разряжающихся ионов металлов может быть определена из выражения [6]:

$$W_i = -\alpha z F (E - E_0), \quad (2)$$

где E – текущее значение потенциала, E_0 – равновесное значение потенциала (для Ni – $E_0 = -0,45$ В, Zn – $E_0 = -0,96$ В относительно хлорсеребряного электрода).

Исходя из данных потенциостатических зависимостей (рис. 5 и 6) по формуле (2) была оценена полная энергия ионов металлов (табл. 2).

Из сравнения результатов расчетов (табл. 2) следует, что для перехода иона из раствора электролита на поверхность катода с образованием кристаллического зародыша необходима энергия, которая может быть рассчитана следующим образом:

$$W_i = W_e + W_T + \Delta W, \quad (3)$$

где W_e – энергия электрического поля, W_T – тепловая энергия, ΔW – дополнительная энергия, которая связана с действием лазерного излучения на ионы металлов в двойном электрическом слое.

Из табл. 2 видно, что дополнительная энергия, которая передана ионам металлов в двойном электрическом слое, сравнима с энергией кванта лазерного излучения. Это говорит о том, что при лазерно-стимулированном процессе электроосаждения факторами, влияющими на процесс образования катодного покрытия, являются: электрическое поле, тепловое и нетепловое действие лазерного излучения на стадии разряда ионов металла. Действие лазерного излучения в приповерхностной области катода, направленное на увеличение скорости электроосаждения, позволяет снять торможение стадии электрохимического процесса – разряда ионов металла и способствует увеличению энергии ионов металла на 11,2 кДж/моль (0,116 эВ/ион) и 18,3 кДж/моль (0,19 эВ/ион) соответственно для никеля и цинка.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

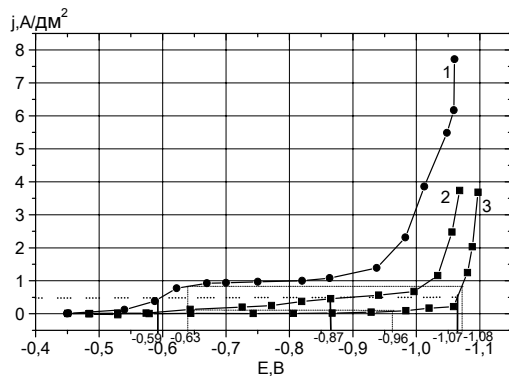


Рис. 5 Вольт-амперные зависимости, полученные в сульфатном электролите никелирования:
1 - при лазерно-стимулированном режиме электроосаждения ($\lambda=10,6$ мкм, $\omega=3,2 \cdot 10^5$ Вт/м²), при постоянном токе: 2 - T=351 K, 3 - T=293 K

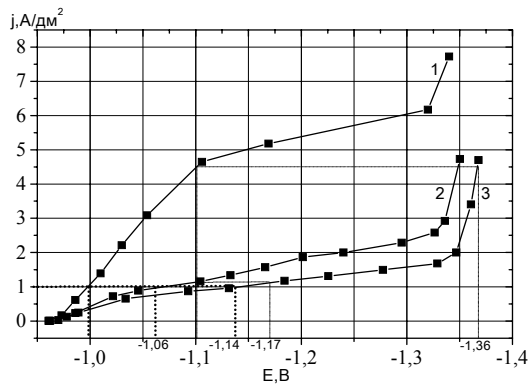


Рис. 6 Вольт-амперные зависимости, полученные в сульфатном электролите цинкования:
1 - при лазерно-стимулированном режиме электроосаждения ($\lambda=694$ нм, $\omega=70 \cdot 10^7$ Вт/м²), при постоянном токе: 2 - T=356 K, 3 - T=293 K

Таблица 2

Энергия кванта лазерного излучения и составляющие энергии разряжающихся ионов металлов

Раствор электролита	W_e , кДж/моль (эВ/ион)	W_T , кДж/моль (эВ/ион)	ΔW , кДж/моль (эВ/ион)	W_γ , эВ
никель	17,4 (0,18)	32,2 (0,33)	11,2 (0,116)	0,117
цинк	13,5 (0,14)	6,7 (0,07)	18,3 (0,19)	1,79

Таким образом, при взаимодействии лазерного излучения с ионами, движущимися под действием внешнего электрического поля, в приповерхностной области катода происходит передача дополнительной энергии. Увеличение энергии ионов в двойном электрическом слое

позволяет снять торможения в стадии разряда. Это влияет на величину катодного пресыщения на стадии кристаллизации, а, следовательно, на кинетику процесса образования новой фазы. При лазерно-стимулированной электрокристаллизации в гальваностатических условиях значение общего катодного перенапряжения уменьшается, а в потенциостатических условиях увеличение плотности тока ведет к увеличению катодного перенапряжения (рис. 5, 6), при этом структура осаждаемого металла изменяется от равновесной крупнокристаллической до более неравновесной мелкокристаллической структуры.

Таким образом установлено, что увеличение энергии ионов в двойном электрическом слое при взаимодействии с лазерным излучением влияет на величину катодного пресыщения на стадии кристаллизации, а, следовательно, на глубину проникновения ионов осаждаемого металла в основной металл, что приводит к возрастанию адгезионной прочности.

Научная новизна и практическая значимость

Установлено, что увеличение энергии ионов в двойном электрическом слое при взаимодействии с лазерным излучением влияет на величину катодного пресыщения на стадии кристаллизации, а, следовательно, на глубину проникновения ионов осаждаемого металла в основной металл, что приводит к возрастанию адгезионной прочности.

На основании результатов исследования структуры и механических свойств никелевых и цинковых металлических пленок, полученных при лазерно-стимулированном режиме электроосаждения, установлено их связь с параметрами лазерного излучения. Применение лазерного излучения позволяет, в зависимости от режима электроосаждения (гальваностатического или потенциостатического), получать как равновесную структуру, так и наоборот, формировать более неравновесную структуру.

Выводы

Согласно результатам микрорентгеноспектрального анализа при лазерно-стимулированном электроосаждении формирование твердого раствора никеля в меди и цинка в меди

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

имеет место в поверхностном слое подложки толщиной до 1 мкм и 2 мкм соответственно, что способствует повышению адгезионной прочности пленок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ

1. Вишенков, С. А. Повышение надежности и долговечности деталей машин химическим никелированием / С. А. Вишенков, Е. В. Каспарова. – М. : Наука, 1963. – 207 с.
2. Дудкина, В. В. Локальное лазерно-стимулированное электроосаждение цинка / В. В. Дудкина, В. А. Заблудовский, Э. Ф. Штапенко // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія: Фізика. Радіоелектроніка. – Д. : ДНУ, 2009. – Т. 16. – № 2. – С. 154–160.
3. Зимон, А. Д. Адгезия пленок и покрытий / Зимон А. Д. – М. : Химия, 1979. – 352 с.
4. Дудкіна, В. В. Вплив лазерного випромінювання на процес електроосадження плівок нікелю / В. В. Дудкина, В. О. Заблудовський, Е. П. Штапенко // Фізика і хімія твердого тіла. – 2011. – Т. 12. – № 2. – С. 332–336.
5. Пат. 2051205 Россия, C25D5/34, C25D5/50. Способ получения прочносцепленных гальванических покрытий на металлах и сплавах / Ковенский И. М., Скифский С. В., Поветкин В. В. ; заявитель и патентообладатель Тюменский индустриальный инс-т. – № 2008133237/02 ; заявл. 02.03.1992 ; опубл. 27.12.1995, Бюл. № 8. – 2 с.
6. Костин, Н. А. Импульсный электролиз / Н. А. Костин, В. С. Кублановский, В. А. Заблудовский. – К. : Наук. думка, 1989. – 168 с.
7. Поветкин, В. В. Структура электролитических покрытий / В. В. Поветкин, И. М. Ковенский. – М. : Металлургия, 1989. – 135 с.
8. Серянов, Ю. В. Лазерно-стимулированное электроосаждение никеля на медь из сульфатного электролита / Ю. В. Серянов, М. В. Нестеренко // Защита металлов. – 1991. – № 3. – С. 853–855.
9. Пат. 2130091 Россия, C25D3/56, C25D5/18. Способ получения прочносцепленных покрытий на основе никеля на металлических деталях / Спиридонов Б. А., Шалимов Ю. Н. ; заявитель и патентообладатель Воронежский гос. техн. ун-т. – № 98107197/02 ; заяв. 17.04.1998, опубл. 10.05.1999, Бюл. № 11. – 2 с.
10. Тарасенко, Ю. П. Адгезионные свойства и структурные особенности плазменных покрытий на основе никеля / Ю. П. Тарасенко, С. В. Поздняков, В. Г. Лютцау // Фізика і хімія обробки матеріалів. – 1991. – Т. 4. – № 2. – С. 97–102.
11. Феттер, К. Электрохимическая кинетика / К. Феттер. – М. : Химия, 1967. – 856 с.
12. Штапенко, Э. Ф. Лазерно-стимулированное электроосаждение никелевых пленок / Э. Ф. Штапенко, В. А. Заблудовский, В. В. Дудкина // Металлофизика и новейшие технологии. – 2007. – Т. 29. – № 3. – С. 317–323.
13. Bard, A. J. Electrochemical methods. Fundamentals and applications / A. J. Bard, L. R. Faulkner. – Hamilton : John Wiley, 2001. – 833 p.
14. Bockris, John O'M. Modern electrochemistry : in 2 volumes / John O'M Bockris, Amulya K. N. Reddy. – New York : Kluwer academic, 2002. – 769 p.
15. Puippe, J. Cl. Investigation of Laser-Enhanced Electroplating Mechanisms / J. Cl. Puippe, R. E. Acosta, R. J. Gutfeld // Journal of the Electrochemical Society – 1981. – Vol. 128. – № 12. – P. 2539–2545.
16. Friedrich, F. Untersuchungen zur laserunterstützten palladiumabscheidung / F. Friedrich, Ch. J. Raub // Galvanotechnik. – 1986. – Vol. 77. – № 11. – P. 2658–2674.

В. В. ДУДКІНА^{1*}

^{1*}Каф. «Фізика», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 49010 Дніпропетровськ, Україна, вул. Лазаряна, 2, тел. +38 (067) 359 60 59, ел. пошта dudkina2@ukr.net

АДГЕЗИЙНА МІЦНІСТЬ НІКЕЛЕВИХ ТА ЦИНКОВИХ ПОКРИТТІВ З МІДНОЮ ОСНОВОЮ, ЕЛЕКТРООСАДЖЕНИХ В УМОВАХ ЗОВНІШНЬОЇ СТИМУЛЯЦІЇ ЛАЗЕРНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Мета. Дослідження впливу лазерного випромінювання на міцність зчеплення нікелевих і цинкових покриттів з мідною основою і вивчення початкових стадій кристалізації плівок нікелю та цинку. **Методика.** Електроосадження нікелевих і цинкових плівок із стандартних сульфатних розчинів електролітів здійснювалося на лазерно-електролітичних установках, побудованих на базі газорозрядного CO₂-лазера і твердотілого

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

рубінового лазера КВАНТ-12. Адгезійну міцність металевих покриттів з основою визначали якісно (методом нанесення сітки подряпин і методом багаторазового вигину) і кількісно (шляхом вдавлення алмазної піраміди в межу розділу «покриття-основа» на бічному шліфі). Спектральний мікроаналіз елементного складу кордону розділу «плівка-підкладка» вироблявся на РЕММА-102-02. **Результати.** Застосування лазерного опромінення прикатодної області в процесі електроосадження металевих покриттів сприяє підвищенню міцності зчеплення покриттів з основою. Результати випробувань адгезійної міцності плівок і спектральний мікроаналіз елементного складу кордону розділу «плівка-підкладка» показали, що при лазерно-стимульованому електроосадженні має місце дифузійна взаємодія між елементами покриття і поверхнею основного металу, в результаті якої метал покриття дифундує в основний метал, утворюючи перехідний дифузійний шар, що сприяє підвищенню міцності зчеплення покриттів з основою. **Наукова новизна.** Встановлено, що збільшення енергії іонів у подвійному електричному шарі при взаємодії з лазерним випромінюванням впливає на величину катодного пересичення на стадії кристалізації, а, отже, на глибину проникнення іонів металу, які осідають в основний метал, що приводить до зростання адгезійної міцності. **Практична значимість.** На підставі результатів дослідження структури і механічних властивостей нікелевих і цинкових металевих плівок, отриманих при лазерно-стимульованому режимі електроосадження, встановлено їх зв'язок з параметрами лазерного випромінювання. Застосування лазерного випромінювання дозволяє, залежно від режиму електроосадження (гальваностатичного або потенціостатичного), отримувати як рівноважну структуру, так і навпаки, формувати більш нерівноважну структуру.

Ключові слова: лазерно-стимульоване електроосадження; адгезійна міцність; твердий розчин; мікроспектральний аналіз; енергія іонів

V. V. DUDKINA^{1*}

^{1*}Dep. "Physics", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 49010, Dnepropetrovsk, Ukraine, Lazaryan Str., 2, tel. +38 (067) 359 60 59, e-mail dudkina2@ukr.net

ADHESION STRENGTH OF NICKEL AND ZINC COATINGS WITH COPPER BASE ELECTROPLATED IN CONDITIONS OF EXTERNAL STIMULATION BY LASER IRRADIANCE

Purpose. The investigation of laser irradiance influence on the adhesion strength of nickel and zinc coatings with copper base and the research of initial stages of crystallization for nickel and zinc films. **Methodology.** Electrodeposition of nickel and zinc films from the standard sulphate electrolyte solutions was carried out on the laser-electrolytic installations, built on the basis of gas discharge CO₂-laser and solid ruby laser KVANT-12. The adhesion strength of metal coatings with copper base are defined not only qualitatively using the method of meshing and by means of multiple bending, but also quantitatively by means of indentation of diamond pyramid into the border line between coating and base of the side section. Spectrum microanalysis of the element composition of the border line "film and base" is carried out using the electronic microscope REMMA-102-02. **Findings.** Laser irradiance application of the cathode region in the process of electroplating of metal coatings enables the adhesion strength improvement of coating with the base. Experimental results of adhesive strength of the films and the spectrum analysis of the element composition for the border line between film and base showed that during laser-assisted electroplating the diffusion interaction between coating elements and the base metal surface takes place. As a result of this interaction the coating metal diffuses into the base metal, forming transition diffused layer, which enhances the improvement of adhesion strength of the coatings with the base. **Originality.** It is found out that ion energy increase in the double electric layer during interaction with laser irradiance affects cathode supersaturation at the stage of crystallization. Hence, it also affects the penetration depth of electroplated material ions into the base metal, which leads to the adhesion strength enhancement. **Practical value.** On the basis of research results obtained during the laser-assisted electroplating of the structure and mechanical characteristics of nickel and zinc metal films, their connection with the laser irradiance parameters is found out. Laser irradiance application, depending on the electroplating mode (galvanostatic or potentiostatic) allows obtaining the equilibrium structure or, on the other hand, non-equilibrium structure.

Keywords: laser assisted electroplating; adhesion strength; solid solution; electron microprobe analysis; ion energy

REFERENCES

1. Vishenkov S.A., Kasparova E.V. *Povysheniye nadezhnosti i dolgovechnosti detaley mashin khimicheskimi nikelirovaniyem* [Improving the reliability and durability of machine parts by chemical nickel plating]. Moscow, Nauka Publ., 1963. 207 p.
2. Dudkina V.V., Zabludovskiy V.A., Shtapenko Ye.F. Lokalnoye lazerno-stimulirovannoye elektroosazhdeniye tsinka [Local laser-enhanced electroplating of zinc]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universitetu. Seriya: Fizyka. Radioelektronika* [Bulletin of Dnipropetrovsk University. Series: Physics. Radioelectronics], 2009, issue 16, pp. 154-160.
3. Zimon A.D. *Adgeziya plenok i pokrytiy* [The adhesion of films and coatings]. Moscow, Khimiya, 1979. 352 p.
4. Dudkina V.V., Zabludovskiy V.A., Shtapenko Ye.F. Vplyv lazernoho vyprominiuvannia na protses elektroosazhennia plivok nikeliu [Influence of laser radiation on the electroplating process of nickel films]. *Fizyka i khimiia tverdoho tila – Physics and Chemistry of Solid Bodies*, 2011, vol. 12, no. 2, pp. 332-336.
5. Kovenskiy I.M., Skifskiy S.V., Povetkin V.V. *Sposob polucheniya prochnostseplennykh galvanicheskikh pokrytiy na metallakh i splavakh* [Method of producing the tight platings on metals and alloys]. Patent RF, no. 2008133237/02, 1992.
6. Kostin N.A., Kublanovskiy V.S., Zabludovskiy V.A. *Impulsnyy elektroliz* [Pulse electrolysis]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1989. 168 p.
7. Povetkin V.V., Kovenskiy I.M. *Struktura elektroliticheskikh pokrytiy* [Electrolyte structure]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1989. 135 p.
8. Seryanov Yu.V., Nesterenko M.V. Lazerno-stimulirovannoye elektroosazhdeniye nikelya na med iz sulfatnogo elektrolita [Laser-enhanced electroplating of nickel on copper sulfate electrolyte]. *Zashchita metallov – Metals Protection*, 1991, no. 3, pp.853-855.
9. Spiridonov B.A., Shalimov Yu.N. *Sposob polucheniya prochnostseplennykh pokrytiy na osnove nikelya na metallicheskih detalyakh* [Method of producing the tight coatings based on nickel metal parts]. Patent RF, no. 98107197/02, 1998.
10. Tarasenko Yu.P., Pozdnyakov S.V., Lyuttsau V.G. Adgezionnyye svoystva i strukturnyye osobennosti plazmennyykh pokrytiy na osnove nikelya [Adhesive Properties and Structural Features of Plasma Coverings on the Basis of Nickel]. *Fizika i khimiya obrabotki materialov – Physics and Chemistry of Materials Processing*, 1991, vol. 4, no. 2, pp. 97-102.
11. Fetter K. *Elektrokhimicheskaya kinetika* [Electrochemical kinetics]. Moscow, Khimiya Publ., 1967. 856 p.
12. Shtapenko E.F., Zabludovskiy V.A., Dudkina V.V. Lazerno-stimulirovannoye elektroosazhdeniye nikelovykh plenok [Laser-Enhanced Electroplating of Nickel Films]. *Metallofizika i noveyshiye tekhnologii – Physics of metals and the latest technologies*, 2007, vol. 29, no. 3, pp. 317-323.
13. Bard A.J., Faulkner L.R. *Electrochemical methods. Fundamentals and applications*. Hamilton, John Wiley Publ., 2001. 833 p.
14. John O'M Bockris, Amulya K.N. Reddy. *Modern electrochemistry*. New York, Kluwer academic Publ., 2002. 769 p.
15. Puippe J.Cl., Acosta R.E., Gutfeld R.J. Investigation of Laser-Enhanced Electroplating Mechanisms. *Journal of the Electrochemical Society*, 1981, vol. 128, no. 12, pp. 2539-2545.
16. Friedrich F., Raub Ch.J. Untersuchungen zur laserunterstützten palladiumabscheidung. *Galvanotechnik*, 1986, vol. 77, no. 11, pp. 2658–2674.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Украина);
д.физ.-мат.н., проф. В. В. Клименко (Украина)

Надійшла до редколегії 25.02.2013

Прийнята до друку 09.04.2013

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

УДК 656.22:519.86

Н. О. ЛОГВІНОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел +38 (067) 524 43 22, ел. пошта nata4ka8007@mail.ru

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА НАПРЯМКУ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ ЗНАМ'ЯНКА–ОДЕСА

Мета. Визначення економічно обґрунтованих розмірів руху вантажних поїздів між ділянками залізничного напрямку з паралельними ходами. Задачею дослідження є розподіл в оперативних умовах поїзної роботи за умови пропуску вантажних поїздів між ділянками залізничного напрямку з паралельними ходами. **Методика.** Дослідження виконано за класичними методами і методиками лінійного моделювання. **Результати.** Рациональний розподіл поїздопотоків на залізничній інфраструктурі з паралельними ходами в теперішній час здійснюється за експертним методом на основі даних про раніше виконані обсяги перевезень без застосування техніко-економічного обґрунтування. Для вирішення задачі розподілу поїздопотоків між паралельними ходами залізничного напрямку в оперативних умовах використані лінійні моделі і методи лінійного програмування. При моделюванні всі поїздопотоки напрямку розділені на нерозподілювальні поїздопотоки (які залишаються незмінними для усіх варіантів оперативного управління) та розподілювальні (які можливо перерозподілювати у деяких межах між паралельними ходами залізничного напрямку). **Наукова новизна.** З наукової точки зору, робота цікава і важлива тим, що методи лінійного програмування дозволяють проводити розподіл поїздопотоків між паралельними ходами в оперативних умовах. **Практична значимість.** Практична цінність даного дослідження полягає у застосуванні викладених методів економіко-математичного моделювання розподілу поїздопотоків між паралельними ходами на напрямку Знам'янка–Одеса. До оптимального варіанту слід віднести передачу 10 пар вантажних поїздів з основного напрямку Помічна–Колосівка–Одеса на паралельний напрямок Помічна–Котовськ–Роздільна–Одеса.

Ключові слова: пропускна спроможність; залізничний напрямок; розміри руху поїздів; економіко-математичне моделювання

Вступ

В інфраструктурі Укрзалізниці (УЗ) існує багато напрямків, що мають паралельні ходи. До них можливо віднести: Ясинувата–Харків через Куп'янськ чи Ізюм, Ясинувата–Синельникове через Лозову чи Чаплине, Синельникове–Кривий Ріг через П'ятихатки чи Апостолове, Харків–Дарниця через Полтаву чи Гребінку, Знам'янка–Жмеринка через Фастів чи Помічну, Козятин–Красне через Шепетівку чи Жмерин-

ку, Дарниця–Ковель через Коростень чи Козятин, Знам'янка–Одеса через Колосівку чи Котовськ та ін.

Необхідність посилення пропускної спроможності дільниці Знам'янка–Помічна–Колосівка–Одеса визначені [5].

Постановка проблеми

Рациональний розподіл поїздопотоків в залізничній інфраструктурі з паралельними ходами

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

в теперішній час здійснюється за експертним методом на основі даних про раніше виконані обсяги перевезень без застосування техніко-економічного обґрунтування.

Поставленою задачею є економіко-математичне моделювання розподілу поїздопотоків між паралельними ходами залізничного напрямку Знам'янка–Одеса, на якій всі поїздопотоки станцій відправлення і станцій призначення прикріплені між собою, аби перевезення були здійснені з мінімальними для залізниці витратами.

У постановці задачі передбачається, що всі техніко-економічні характеристики елементів напрямку і дані про перевезення вантажів на адресу морських портів Одеського регіону повністю відомі та можуть змінюватися з часом. Залізничний напрямок складається з двох паралельних ходів: Знам'янка–Помічна–Колосівка–Одеса (основний) та Знам'янка–Колосівка–Котовськ–Роздільна–Одеса (паралельний).

Приймаються безпосередньо заданими:

- початкові і кінцеві станції відправлення поїздопотоків (Знам'янка, Одеса);
- об'єми поїздопотоків при відправленні з початкових станцій і прибуттю на кінцеві станції даного напрямку (Знам'янка, Одеса);
- техніко-економічні витрати, що залежать від обсягів перевезення;
- існуюча транспортна інфраструктура даного залізничного напрямку з паралельними ходами;
- розміри розподілювальних і нерозподілювальних поїздопотоків.

Аналіз останніх досліджень

Дослідження пропускної спроможності залізничного напрямку з паралельними ходами показали, що добове розподілення поїздопотоків між напрямками з паралельними ходами неоднорідне. Внаслідок цього витрати залізниці на просування поїздопотоків є неоптимальними [2, 7, 9]. Виявлено [6], що при подальшому зростанні обсягів перевезень необхідно проводити перерозподіл поїздопотоків між паралельними ходами залізничного напрямку. В період інформаційних технологій організація залізничних перевезень може бути оптимізованою в оперативному порядку [8].

Визначення невирішених раніше проблем

При незмінному технічному стані елементів транспортної інфраструктури з паралельними ходами додаткові витрати на перевезення одночасно зростають зі збільшенням обсягів перевезень. Розподіл поїздопотоків між паралельними ходами на залізничних напрямках здійснюється експертним шляхом.

Вже на цей час на окремих залізничних напрямках української мережі, особливо до чорноморських морських портів, відчувається дефіцит пропускної спроможності, який можливо ліквідувати за рахунок підвищення технічного оснащення, удосконалення технології пропуску поїздопотоків по них та розподілу останніх між паралельними ходами.

Для формування моделі процесу управління вантажними перевезеннями необхідно встановити економіко-математичні складові, що враховують особливості експлуатаційної діяльності.

Мета і задачі

Метою дослідження є визначення економічно обґрунтованих розмірів руху вантажних поїздів між ділянками залізничного напрямку з паралельними ходами. Задачею дослідження є розподіл в оперативних умовах поїзної роботи при пропуску вантажних поїздів між ділянками залізничного напрямку з паралельними ходами.

Виклад основного матеріалу

Для вирішення задачі розподілу поїздопотоків між паралельними ходами залізничного напрямку в оперативних умовах використані лінійні моделі і методи лінійного програмування.

Обмеження транспортної інфраструктури по наявній пропускній спроможності залізничного напрямку з паралельними ходами Знам'янка–Одеса є необхідною умовою для розподілу поїздопотоків між ними з урахуванням перспективного розвитку портів Одеського регіону.

При вирішенні поставленої задачі з використанням пакету MATLAB 6.5 виконано математичне моделювання пропуску поїздопотоків по ланках мережі з паралельними ходами, на якій всі поїздопотоки станцій відправлення і станцій призначення пов'язані між собою.

При моделюванні всі поїздопотоки напрямку розділені на нерозподілювальні поїздопотоки, які

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

залишаються незмінними для усіх варіантів оперативного управління та розподілювальні, які можливо перерозподілювати у деяких межах між паралельними ходами залізничного напрямку.

В якості нерозподілювального поїздопотоків (X^i) в моделі прийнято: для ділянки Помічна–Колосівка – 22 поїзда призначенням в порти Херсон, Миколаїв та «Південий»; для ділянки Помічна–Котовськ – 7 поїздів призначенням на залізницю Молдови.

В якості розподілювального поїздопотоків (X) в моделі прийнято існуючий варіант пропуску поїздів: для ділянки Помічна–Колосівка – 36 поїздів призначенням в порти Одеса, Іллічівськ, Рені та Ізмаїл; для ділянки Помічна–Котовськ – 12 поїздів призначенням в порти Одеса, Іллічівськ, Рені та Ізмаїл.

Сформовано розширену мережу, яка включає як дійсні ланки, по яких безпосередньо здійснюються перевезення, так і додаткові ланки – що передбачають витрати на перевезення вантажів, які знаходяться у відповідних залежностях від витрат на переробку поїздопотоків у вузлах. Врахувати цю специфіку можливо дво-яко: або скласти функції витрат так, щоб зробити надмірно великою вартість перевезення нерозподілювальних поїздопотоків, або вказати в самій схемі транспортної інфраструктури, по яких ланках не допускається перевезення таких поїздопотоків.

Міра агрегації залізничного напрямку мережі визначається можливістю здобуття достовірної інформації про напрямки і розміри поїздопотоків. Мережа агрегується так, щоб всі ділянки, які отримують поїздопотоків, були однорідні на всьому протязі по найважливіших технічних та експлуатаційних показниках, таких як: кількість колій, вид тяги, система централізації та блокування (СЦБ), довжина приймально-відправних колій. При цьому пасажирські поїздопотоків вважаються заданими і сталими.

Процес агрегації поширюється і на вихідну інформацію про перевезення. В ній вказується, з якого вузла в який і в якій кількості слідують вантажні поїздопотоків. Вагова норма поїздів, статичні навантаження на вісь вагонів і міру використання вантажопідйомності приймаються середніми і єдиними для всіх поїздів, що проходять по вибраній ділянці.

Витрати на перевезення вантажів можна ро-

збити на дві складові:

– постійні і не залежні від обсягу перевезень (витрати по обслуговуванню постійних пристроїв інфраструктури);

– залежні – безпосередньо визначаються інтенсивністю завантаження елементів мережі вантажними і пасажирськими поїздопотоків.

При вирішенні задачі оптимізації постійний доданок в цільовій функції може бути з розрахунку виключено, тому розглядається лише частина витрат, залежна від обсягу перевезень. Значення функціонала, що виходить, при цьому буде менше повних витрат на деяку константу, але план оптимальних поїздопотоків по кожній ділянці не зміниться.

Для розрахунків на ЕОМ залежні витрати на кожній транспортній ланці мережі мають бути представлені у вигляді функцій від обсягів вантажних поїздопотоків, з урахуванням розмірів руху порожніх поїздопотоків по регульовальних завданнях в обох напрямках. Необхідно, аби ці функції зважали на специфіку кожної ділянки і були б залежними від вказаних вище найважливіших технічних і експлуатаційних параметрів. У них повинні входити як безпосередньо експлуатаційні витрати, так і капіталовкладення в рухомий склад і вартість вантажної маси.

При моделюванні процесу ефективного розподілу поїздопотоків по паралельних ходах [1] включені наступні витрати:

– витрати на механічну роботу по просуванню поїздопотоків в прямому та зворотньому напрямках;

– витрати на механічну роботу по перевезенню порожніх поїздопотоків;

– витрати, пропорційні часу перевезення;

– витрати, пропорційні довжині пробігу поїздів;

– витрати, пропорційні обсягу вантажу, що перевозиться;

– додаткові витрати, пов'язані з простоем розподілювальних поїздопотоків на станціях зміни локомотивів чи локомотивних бригад;

– додаткові витрати, пов'язані з простоем розподілювальних поїздопотоків на станціях перелому маси поїздів, пов'язані зі зменшенням маси до критичної норми.

Цільова функція, яка використовується в подальших розрахунках, є сумою витрат на перевезення вантажних поїздів по ланках мережі з

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

врахуванням відповідних витрат на переробку поїздів у вузлах мережі. Конкретний же вигляд функцій витрат на перевезення і міру їх деталізації, вимоги до точності наближення до оптимуму та інші визначаються метою рішення задачі.

Метою моделювання є визначення такого варіанту розподілення поїздопотоків X між напрямками Помічна–Колосівка–Одеса та Помічна–Котовськ–Роздільна–Одеса, що забезпечує мінімальні загальні витрати на перевезення, тобто

$$B_1(\Gamma_1, \Gamma_2) = \sum_{i=1}^{i=8} C_i(X + X^H) + \Delta B_{\text{рух}}^{\text{од}}(N_{\text{ван}}) \rightarrow \min, (1)$$

де Γ_1, Γ_2 – вантажопотік відповідно парного та непарного напрямку Знам'янка–Одеса, т;

$C_1(X + X^H), C_2(X + X^H)$ – витрати на механічну роботу по просуванню поїздопотоків в парному та непарному напрямках, грн;

$C_3(X + X^H)$ – витрати на механічну роботу по перевезенню порожніх поїздопотоків, грн;

$C_4(X + X^H)$ – витрати, пропорційні часу перевезення поїздопотоків, грн;

$C_5(X + X^H)$ – витрати, пропорційні довжині пробігу поїздопотоків, грн;

$C_6(X + X^H)$ – витрати, пропорційні об'єму вантажу, що перевозиться поїздопоток, грн;

$C_7(X)$ – додаткові витрати, пов'язані з простоям розподілювальних поїздопотоків на станції Одеса–Застава, грн;

$C_8(X)$ – додаткові витрати, пов'язані з простоям розподілювальних поїздопотоків на станції Помічна для виконання операцій по зменшенню маси поїздів до встановленої норми, грн;

$\Delta B_{\text{рух}}^{\text{од}}(N_{\text{ван}})$ – додаткові витрати, пов'язані з наданням вікон або простоями при неможливості організації безупинного схрещення по однокільйонних ділянках з двохкільйонними вставками, грн.

Витрати на перевезення розраховуються згідно рекомендацій, наведених [4].

За первинний варіант розподілу вантажних поїздів між паралельними ходами прийнято існуючий варіант, згідно з яким розміри руху розподілювальних поїздопотоків по основному ходу складають 36 пар вантажних поїздів, по паралельному – 12 пар вантажних поїздів. Загальні

витрати на перевезення складають 119,471 млн грн.

За результатами економіко-математичного моделювання розподілу розподілювальних поїздопотоків отримано графічну залежність мінімальних витрат від напрямку слідування поїздопотоків між паралельними ходами, яку наведено на рис. 1.

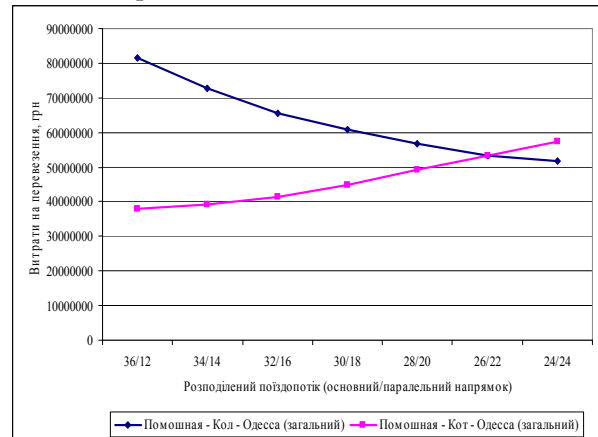


Рис. 1. Графічна залежність розподілювальних поїздопотоків між паралельними ходами залізничного напрямку Знам'янка–Одеса

При вирішенні транспортної задачі розподілювальний поїздопотік з основного ходу напрямку залізничних перевезень при кожній ітерації моделювання передавався на паралельний хід напрямку до тих пір, поки загальні витрати на перевезення не набули мінімального значення [3].

Проведені дослідження довели, що найбільш ефективним пропуском розподілювальних вантажних поїздопотоків між паралельними ходами напрямку Знам'янка–Одеса є направлення 26 пар поїздів по основному напрямку та передачі 10 пар вантажних поїздів на паралельний хід. Загальні витрати на перевезення складають 106,557 млн грн.

Завантаження основного ходу напрямку зменшується з 96 до 74%, що дозволяє скоротити кількість схрещень вантажних поїздів та підвищити дільничну швидкість на 9,4 км/год.

Завантаження паралельного напрямку після перерозподілу зростає з 36 до 64 %, що підвищує кількість схрещень вантажних поїздів між собою та зменшує дільничну швидкість на 3,8 км/год.

Річна економічна ефективність перерозподілу поїздопотоків між паралельними ходами напрямку Знам'янка–Одеса складає

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

12,860 млн грн (4,5 %).

Крім економічної ефективності, запропоновані заходи дозволять зменшити потрібну пропускну спроможність основного напрямку залізничних перевезень.

Дослідженнями завантаження і режимів роботи локомотивів у різні періоди року було встановлено, що на ділянках, де систематично спостерігаються особливо несприятливі погодні умови, раніше встановлені норми маси поїздів часто не можуть бути реалізовані локомотивами без зниження надійності їх роботи, що впливає на стійкість руху поїздів на цілому напрямку.

При розрахунках оптимальних режимів руху поїздів виділяються три часові зони: нічна (з 22 до 5 годин); напівпікова (з 5 до 7, з 9 до 17, з 21 до 22 годин); пікова (з 7 до 9, з 17 до 21 годин). При цьому слід зазначити, що періоди найвищих цін можуть дещо змінюватися відповідно до періоду року.

Згідно до концепції Укрзалізниці щодо скорочення нічних пасажирських поїздів із заміною їх на денні експresi, денний час доби буде зайнятий пасажирськими перевезеннями, а з урахуванням коефіцієнтів знімання вантажних поїздів значний обсяг вантажних перевезень прийде на нічний час.

З цією метою виконані дослідження, які спрямовані на вирішення проблеми зменшення вартості електроенергії на тягу поїздів, спожитої в умовах застосування змінних тарифів, насамперед для умов оптового ринку електроенергії. Високий рівень кореляції між масою поїздів і енергоспоживання на тягу поїздів дає можливість побудови ефективних інформаційних систем регулювання електроспоживання. На основі результатів досліджень тягово-енергетичної лабораторії Одеської залізниці були встановлені залежності між обсягами перевезень, електроспоживанням на тягу поїздів та вартості електроенергії з урахуванням часових тарифних зон. При цьому розрахунки споживання електроенергії на тягу поїздів на напрямку Знам'янка–Помічна–Колосівка–Одеса, що були виконані для вантажних поїздів, показали суттєві відмінності в показниках вартості ефективності.

Проведені розрахунки показують, що при зміні графіку руху вантажних поїздів з пікових зон в нічні зони можлива економічна ефективність складає до 8,909 млн грн на рік.

Висновки

За результатами економіко-математичного моделювання розподілу поїздопотоків між паралельними ходами на напрямку Знам'янка–Одеса, до оптимального варіанту слід віднести передачу 10 пар вантажних поїздів з основного напрямку Помічна–Колосівка–Одеса на паралельний напрямок Помічна–Котовськ–Роздільна–Одеса. Річна економічна ефективність від застосування розподілу поїздопотоків між паралельними ходами напрямку Знам'янка–Одеса склала 12,860 млн грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Александров, А. Э. Расчет и оптимизация транспортных систем с использованием моделей (теоретические основы, методология) : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.22.08 / Александров Александр Эрнстович ; Ур. гос. ун-т путей сообщ. – Екатеринбург, 2008. – 285 с. – С. 267–284.
2. Батурин, А. П. Организация вагонопотоков в одноруппные поезда / А. П. Батурин, А. Ф. Бородин, В. В. Панин // Мир транспорта. – 2010. – № 5. – С. 72–77.
3. Логвінова, Н. О. Методика розподілення вантажних перевезень паралельними ходами на електрифікованих ділянках / Н. О. Логвінова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 67–69.
4. Практичні рекомендації з технологіко-економічного управління експлуатаційною роботою залізниць. ЦД – 0068 : Наказ Укрзалізниці від 10 листопада 2006 № 412-Ц / В. О. Шиш. – К., 2007. – 78 с.
5. Про затвердження Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки : Постанова Кабінету Міністрів України від 16 груд. 2009 року № 1390 : офіц. текст: за станом на 02 лист. 2012 р. – К. : Офіційний вісник України, 2009. – № 101. – С. 179.
6. Удосконалення системи управління парком вантажних вагонів на залізницях України в нових умовах / Д. В. Ломотько, В. М. Запара, В. В. Кулешов, А. В. Кулешов // Збірник наук. праць Укр. держ. акад. заліз. трансп. – Х., 2010. – Вип. 119. – С. 28–35.
7. Формування логістичної технології просування вантажопотоків за жорсткими нитками графіка руху поїздів / Т. В. Бутко, Д. В. Ломотько, А. В. Прохорченко, К. О. Олійник // 36. наук. пр. Укр. Держ. академії заліз. трансп. – Х., 2009. – Вип. 111. – С. 23–31.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

8. Шапкин, И. Н. Организация железнодорожных перевозок на основе информационных технологий : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.22.08 / Шапкин Игорь Николаевич ; Мос. гос. ун-т путей сообщ. – М., 2009. – 329 с. – Библиогр.: С. 306–328.
9. Gubbins, Edmund J. Managing transport operations / Edmund J. Gubbins. – London : Kogan Page, 2003. – 295 p.

Н. А. ЛОГВИНОВА*

Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел + 38 (067) 524 43 22, ел. почта nata4ka8007@mail.ru

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЕЗДОПОТОКОВ НА НАПРАВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ХОДАМИ ЗНАМЕНКА–ОДЕССА

Цель. Определение экономически обоснованных размеров движения грузовых поездов между участками железнодорожного направления с параллельными ходами. Задачей исследования является распределение в оперативных условиях поездной работы при пропуске грузовых поездов между участками железнодорожного направления с параллельными ходами. **Методика.** Исследование выполнено с использованием классических методов и методов линейного программирования. **Результаты.** Рациональное распределение поездопотоков в железнодорожной инфраструктуре с параллельными ходами в настоящее время осуществляется экспертным методом на основе данных о ранее выполненных объемах перевозок без применения технико-экономического обоснования. Для решения задачи распределения поездопотоков между параллельными ходами железнодорожного направления в оперативных условиях использованы линейная модель и методы линейного программирования. При моделировании все поездопотоки на направлении разделены на нераспределяющиеся поездопотоки, которые остаются неизменными для всех вариантов оперативного управления, и распределяющиеся, которые, возможно перераспределять в некоторых пределах между параллельными ходами железнодорожного направления. **Научная новизна.** С научной точки зрения, работа интересна и важна тем, что методы линейного программирования позволяют проводить распределение поездопотоков между параллельными ходами в оперативных условиях. **Практическая значимость.** Практическая ценность данного исследования заключается в применении изложенных методов экономико-математического моделирования распределения поездопотоков между параллельными ходами на направлении Знаменка–Одесса. К оптимальному варианту следует отнести передачу 10 пар грузовых поездов с основного направления Помошная–Колосовка–Одесса на параллельное направление Помошная–Котовск–Раздельная–Одесса.

Ключевые слова: пропускная способность; железнодорожное направление; размеры движения поездов; экономико-математическое моделирование

N. A. LOGVINOVA

Dep. “Stations and Junctions”, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (067) 524 43 22, e-mail nata4ka8007@mail.ru

ECONOMIC AND MATHEMATICAL JUSTIFICATION OF TRAIN TRAFFIC VOLUME DISTRIBUTION ON THE DIRECTION OF RAIL TRANSPORTATION WITH PARALLEL RUNNINGS ZNAMENKA–ODESSA

Purpose. Determination of the economic grounded sizes of motion of freight trains between the areas of railway direction with parallel runnings. A research task is distribution in the operative terms of train work at admission of freight trains between the areas of railway direction with parallel runnings. **Methodology.** Research is executed with the use of classic methods and methods of the linear programming. **Findings.** The rational train traffic volume dis-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

tribution on a railway infrastructure with parallel runnings is presently carried out by an expert method on the basis of information about the before executed volumes of transportations without application of feasibility study. For the task solution of train traffic volume distribution between parallel runnings of railway direction a linear model and methods of the linear programming are used in operative terms. At a design all train traffic volume on a direction part on undistributed train traffic volume – which remains unchanging for all variants of operative management and distributed – which it is possible to redistribute in some limits between parallel runnings of railway direction. **Originality.** From the scientific point of view the work is interesting and important by the methods of the linear programming, which allow conducting train traffic volume distribution between parallel runnings in operative terms. **Practical value.** The practical value of this research is in applying of the described economic and mathematical modeling methods of train traffic volume distribution between parallel runnings on direction Znamenka–Odessa. 10 pairs transmission of freight trains from basic direction Pomoshnaya–Kolosovka–Odessa on parallel direction Pomoshnaya–Kotovsk–Separate is Odessa can be included with the optimum variant.

Keywords: capacity; railway direction; trains movement sizes; economic and mathematical modeling

REFERENCES

1. Aleksandrov A.Ye. *Raschet i optimizatsiya transportnykh sistem s ispolzovaniyem modeley (teoreticheskiye osnovy, metodologiya)*. Doct. Diss. [Calculation and optimization of transport systems with use of models (theoretical bases, methodology) Doct. Diss.]. Yekaterinburg, 2008. 285 p.
2. Baturin A.P., Borodin A.F., Panin V.V. Organizatsiya vagonopotokov v odnogruppye poyezda [The organization of car traffic volumes in single group trains]. *Mir transporta – Transport world*, 2010, no. 5, pp. 72-77.
3. Logvinova N.O. Metodyka rozpodilennia vantazhnykh perevezen paralelnymy khodamy na elektryfikovanykh diliankakh [Technique of distribution of freight transportation between parallel motions on the electrified sections]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 67-69.
4. Shysh V.O., Yanovskyi P.O., Romanenko N.V., Ostrovska A.V., Semeniuk M.Y., Lypovets N.V., Bocharov O.P. *Praktychni rekomendatsii z tekhnoloho-ekonomichnoho upravlinnia ekspluatatsiinoiu robotoiu zaliznyts. TsD-0068* [Practical recommendations about technological and economic management of operational work of the railroads. TsD-0068], Kyiv, 2007. p.75.
5. Pro zatverdzhennia Derzhavnoi tsilovoi prohramy reformuvannia zaliznychnoho transportu na 2010-2019 roky: Postanova Kabinetu ministriv Ukrainy [About the approval of the State target program of reforming of railway transport for 2010–2019: The resolution of the Cabinet of Ukraine]. *Ofitsiyni visnyk Ukrainy – Official bulletin of Ukraine*, 2009, no. 101, 179 p.
6. Lomotko D.V., Zapara V.M., Kuleshov V.V., Kuleshov A.V. Udoskonalennia systemy upravlinnia parkom vantazhnykh vahoniv na zaliznytsiakh Ukrainy v novykh umovakh [Improvement of a control system park of freight cars on the railroads of Ukraine in new conditions]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainскоi Derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu* [Proc. of the Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2010, issue 119, pp. 28-35.
7. Butko T.V., Lomotko D.V., Prohorchenko A.V., Oliinyk K.O. Formuvannia lohistychnoi tekhnolohii prosuvannia vantazhopotokiv za zhorstkymy nytkamy hrafika rukhu poizdiv [Formation of logistic technology of movement of car traffics volume on rigid to strings of the train schedule]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainскоi Derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu* [Proc. of the Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2009. issue 111, pp. 23-31.
8. Shapkin I.N. *Organizatsiya zheleznodorozhnykh perevozok na osnove informatsionnykh tekhnologiy*. Doct. Diss. [The organization of rail transportation on the basis of information technologies. Doct. Diss.]. Moscow, 2009. 329 p.
9. Edmund J. Gubbins *Managing transport operations*. London. United Kingdom, Kogan Page Publ., 2003. 295 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. І. Бобровським (Україна); д.т.н., проф. І. О. Тараном (Україна)

Надійшло до редколегії 26.03.2013.

Прийнята до друку 12.04.2013.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 621.355.5

Ю. И. КАЗАЧА, С. В. ШНУРОВОЙ, В. А. ИВАНОВ, В. А. ДЗЕНЗЕРСКИЙ¹,
С. В. БУРЫЛОВ², В. Ю. СКОСАРЬ^{3*}

¹ Отдел сверхпроводящих магнитных систем, Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», ул. Писаржевского, 5, г. Днепропетровск, Украина, 49005, тел. +38 (056) 370 22 03, эл. почта itst@westa-inter.com

² Отдел электротехнических комплексов транспортных средств, Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», ул. Писаржевского, 5, г. Днепропетровск, Украина, 49005, тел. +38 (056) 370 22 03, эл. почта burylov@westa-inter.com

^{3*} Отдел электротехнических комплексов транспортных средств, Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», ул. Писаржевского, 5, г. Днепропетровск, Украина, 49005, тел. +38 (056) 370 22 03, эл. почта svu@westa-inter.com

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ Pb-Ca-Sn СПЛАВОВ И ЛЕНТ ДЛЯ ТОКООТВОДОВ ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫХ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ (VRLA)

Цель. Современной тенденцией в эксплуатации свинцово-кислотных батарей является переход на использование надежных и безопасных герметизированных VRLA-батарей. Однако, свойства сплавов токоотводов этих батарей еще недостаточно изучены. Это тормозит применение их в ж/д транспорте. Целью работы является исследование зависимости механических свойств сплавов токоотводов от температурных условий отливки, деформации прокатки и времени старения. **Методика.** Определялись механические свойства сплавов и токоотводов на стандартной разрывной машине Р-0,5. **Результаты.** Прокатка свинцово-кальциевых сплавов с деформацией более 90 % повышает их прочность и снижает пластичность. С повышением температуры литейной формы (в диапазоне 60...170 °С) прочность свинцово-кальциевых и свинцово-сурьмянистых сплавов уменьшается, пластичность увеличивается: наиболее это выражено для сплава PbCa_{0,1}Sn_{0,3}, наименее – для PbCa_{0,05}Sn_{1,1}. Прочность свинцово-кальциевых и свинцово-сурьмянистых сплавов увеличивается, пластичность уменьшается с увеличением срока старения: наиболее это выражено для сплава PbCa_{0,05}Sn_{1,1} и лент из него. **Научная новизна.** Установлено, что снижение степени переохлаждения сплавов при кристаллизации приводит к понижению их прочности и возрастанию пластичности. Состав и структура сплавов сильно влияют на динамику их старения. **Практическая значимость.** Предлагается увеличить температуру кристаллизации сплава для ленты отрицательных токоотводов до 120-160 °С вместо 80-120 °С, что повысит пластичность ленты и уменьшит износ оборудования; заменить сплав литых токоотводов вместо PbSb_{1,8}Se на PbCa_{0,1}Sn_{0,3}, что позволит уменьшить массу их на 25 % при сохранении прочности; диапазон старения литых из сплава PbCa_{0,1}Sn_{0,3} токоотводов расширить до 3...30 суток, что сократит производственные издержки. Все вместе это позволит уменьшить износ технологического оборудования и снизить себестоимость продукции при сохранении ее характеристик.

Ключевые слова: свинцово-кальциевые сплавы; механические свойства; VRLA-батареи; прокатка; старение; кристаллизация

Постановка задачи

Актуальной проблемой является усовер-

шенствование технологии производства свинцово-кислотных батарей, которые используются на железнодорожном транспорте. Современ-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ной тенденцией является переход на использование герметизированных VRLA-батарей с рекомбинацией газов, как более надежных и безопасных. Особенностью этих батарей является использование в токоотводах свинцово-кальциево-оловяно-алюминиевых сплавов, свойства которых еще недостаточно изучены. В частности, практически нет достоверных данных, как влияют на свойства сплава температурные, механические и временные параметры его обработки при изготовлении токоотводов [1, 3-8]. Кроме того, производители заинтересованы в уменьшении себестоимости продукции, например, путем сокращения затрат на износ оборудования, которое используется при изготовлении токоотводов батарей.

Поэтому актуальной задачей является исследование зависимости механических свойств свинцово-кальциевых сплавов от температурных условий отливки, деформации прокатки и времени старения. Результаты исследований дали бы возможность усовершенствовать способ получения токоотводов для изготовления свинцово-кислотных аккумуляторных батарей, уменьшить износ оборудования и себестоимость продукции. Решение этой задачи является целью настоящей работы. Объем исследований определялся спецификой производства токоотводов для VRLA батарей, которая заключается в последовательно проводимых операциях отливки полосы из свинцового сплава, прокатки полосы в ленту, дисперсионного твердения (старения) ленты, просечки и растяжения ленты в решетчатую конструкцию.

Решение задачи

В аккумуляторном производстве МНПК «ВЕСТА» для изготовления положительных и отрицательных токоотводов используются свинцово-кальциевые сплавы $\text{PbCa}_{0,05}\text{Sn}_{1,1}$ и $\text{PbCa}_{0,1}\text{Sn}_{0,3}$ соответственно. Эти сплавы и подвергались исследованиям. Вначале были определены механические свойства ($\sigma_{\text{в}}$ и δ) сплава $\text{PbCa}_{0,1}\text{Sn}_{0,3}$ различных плавок и сплава $\text{PbCa}_{0,05}\text{Sn}_{1,1}$ (тоже различных плавок). Температура расплава, от которого отливались образцы, составляла 460...470 °С. В экспериментах изменялась температура литейной формы в диапазоне 60...170 °С. Механические свойства сплавов определялись на стандартной

разрывной машине Р-0,5.

В ходе исследований получены следующие результаты: в диапазоне температур литейной формы 60...170 °С величина временного сопротивления $\sigma_{\text{в}}$ сплава $\text{PbCa}_{0,1}\text{Sn}_{0,3}$ снижается на 27 % с увеличением температуры литейной формы (снижением степени переохлаждения сплава при кристаллизации) со средним градиентом падения $\sigma_{\text{в}} = 0,107 \text{ Н/мм}^2$, а относительное удлинение δ возрастает в 1,7 раза с градиентом повышения около 0,1 % на 1 °С повышения температуры формы. При этом механические свойства сплава $\text{PbCa}_{0,05}\text{Sn}_{1,1}$ ($\sigma_{\text{в}}$ и δ) в указанном диапазоне температуры литейной формы изменяются незначительно.

Столь существенное изменение механических свойств сплава $\text{PbCa}_{0,1}\text{Sn}_{0,3}$ при повышении температуры литейной формы объясняется высокой чувствительностью структуры сплавов с относительно высоким содержанием кальция к температурным параметрам процесса кристаллизации. Ранее было обнаружено [3, 4], что свинцовые сплавы, содержащие более 0,07 % кальция, при кристаллизации образуют зубчатую мелкозернистую структуру, которая характеризуется высокой чувствительностью к переохлаждению, однако соответствующие исследования не были проведены. Полученный в настоящей исследовательской работе характер зависимости механических свойств сплава $\text{PbCa}_{0,1}\text{Sn}_{0,3}$ от температуры может быть объяснен изменением в размерах зерен структуры. При повышении температуры литейной формы снижается степень переохлаждения, и сплав кристаллизуется с образованием относительно более крупных зерен, также уменьшается количество внутренних напряжений и дислокаций, в результате снижаются прочностные свойства материала и увеличиваются пластические.

В этой связи следует рекомендовать ведение процесса получения полосы сплава в колесе-кристаллизаторе установки Strip Line при пониженных режимах его охлаждения с допустимой температурой полосы 120...160 °С на выходе из кристаллизатора вместо обычных 60...120 °С. Снижение прочностных свойств сплава в полосе позволит уменьшить нагрузки в прокатных клетях при сохранении уровня его деформируемости.

Несущественное изменение механических

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

свойств сплава $\text{PbCa}_{0,05}\text{Sn}_{1,1}$ со снижением температуры переохлаждения при кристаллизации сплава объясняется невысокой чувствительностью структуры материала к параметрам охлаждения. При кристаллизации сплавов с содержанием кальция ниже 0,06 % происходит образование крупнозернистой столбчатой структуры, которая отличается слабой чувствительностью к переохлаждению в рабочих диапазонах температур работы установок.

На рис. 1 приведены усредненные по разным плавкам зависимости механических свойств сплава $\text{PbCa}_{0,1}\text{Sn}_{0,3}$ от температуры литейной формы, в которую он отливался.

Следует отметить, что различия в величинах механических характеристик сплавов разных плавков является следствием качества конкретной плавки.

Сравнивая характеристики свинцово-кальциевых сплавов с характеристиками ранее изученных нами свинцово-сурьмянистых сплавов [2], следует отметить, что температура кристаллизации сплавов примерно одинаково влияет на механические их свойства: с ростом тем-

пературы кристаллизации механическая прочность свинцово-кальциевых сплавов, также как и свинцово-сурьмянистых, снижается, а пластические свойства возрастают.

Затем проводились исследования получаемых из сплавов на установке Strip Line свинцово-кальциевых лент. Для этого параллельно с получением литых образцов отбиралась свинцово-кальциевая лента, изготавливаемая из данного сплава. Литые образцы и образцы из прокатанной ленты одновременно (в день проката) подвергались испытаниям на разрыв на стандартной разрывной машине Р-0,5. В ходе исследований с помощью переносной термопары измерялась температура полосы, получаемой в колесе-кристаллизаторе. Значения температуры полосы различных плавков на выходе из колеса-кристаллизатора находились в диапазоне 100-140 °С. Учитывая зависимость механических характеристик сплава $\text{PbCa}_{0,1}\text{Sn}_{0,3}$ от температуры литейной формы (температуры кристаллизации), значения σ_B и δ сплава для сравнения с характеристиками ленты принимались усредненными в диапазоне 100...140 °С.

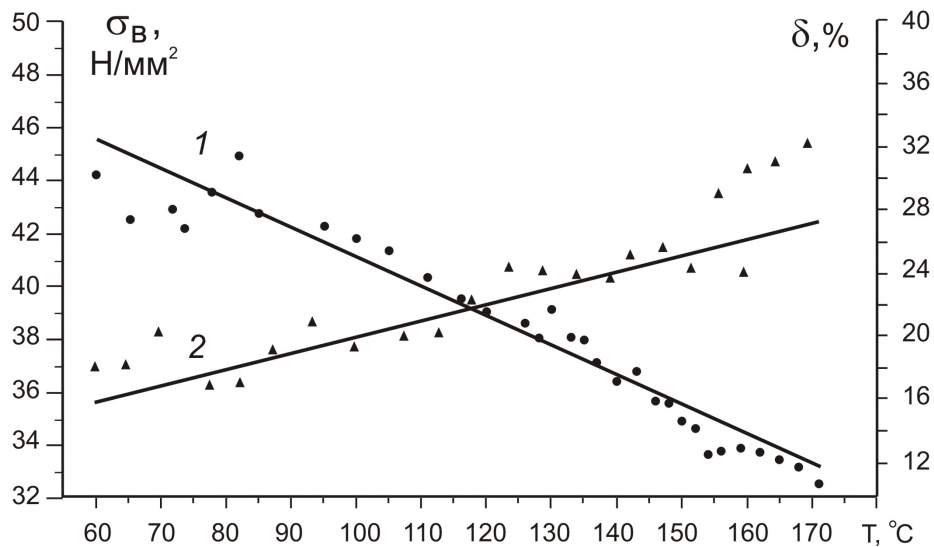


Рис. 1. Зависимость механических свойств сплава $\text{PbCa}_{0,1}\text{Sn}_{0,3}$ от температуры литейной формы:
1 — временное сопротивление сплава; 2 — относительное удлинение сплава

В ходе исследований получены следующие результаты: при прокатке полосы из свинцово-кальциевых сплавов в ленту с суммарной деформацией около 93 % временное сопротивление σ_B для сплава $\text{PbCa}_{0,1}\text{Sn}_{0,3}$ возрастает в

среднем на 15 %, а для сплава $\text{PbCa}_{0,05}\text{Sn}_{1,1}$ — в 2,1 раза. При этом относительное удлинение снижается для сплава $\text{PbCa}_{0,1}\text{Sn}_{0,3}$ на 20 %, а для сплава $\text{PbCa}_{0,05}\text{Sn}_{1,1}$ — в 4,1 раза.

Причиной повышения временного сопро-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

тивления разрыву и снижения относительного удлинения следует считать изменения в структуре сплава в результате наклепа, при котором зерна сплава ориентируются в направлении прокатки, в них накапливаются внутренние напряжения и образуются дислокации, что приводит к увеличению прочностных свойств сплава и снижению пластических. В сплаве $\text{PbCa}_{0,05}\text{Sn}_{1,1}$, обладающем крупнозернистой столбчатой структурой, в результате деформации накапливается большое количество внутренних напряжений и повышается плотность дислокаций в материале, что приводит к резкому увеличению прочностных свойств сплава и падению пластических.

Сравнивая характеристики свинцово-кальциевых лент с характеристиками ранее изученных нами свинцово-сурьмянистых сплавов [2], следует отметить, что механическая прочность свинцово-кальциевых лент на 30-35 % выше, чем у сплава $\text{PbSb}_{1,8}\text{Se}$, применяемого для получения литых токоотводов.

В завершение проводились исследования зависимости механических свойств свинцово-кальциевых сплавов и лент от времени старения.

В ходе исследований получены следующие результаты: с увеличением срока старения прочностные свойства (σ_b) сплавов и лент возрастают, пластические свойства (δ) уменьшаются. Наиболее интенсивное изменение свойств отмечено у сплава $\text{PbCa}_{0,05}\text{Sn}_{1,1}$ и лент, прокатанных из него. При этом прокатка свинцово-кальциевых сплавов с деформацией более 90 % уменьшает интенсивность изменения механических свойств при старении.

Сравнивая характеристики свинцово-кальциевых лент с характеристиками ранее изученных нами свинцово-сурьмянистых сплавов [2], следует отметить, что интенсивное изменение механических свойств при старении происходит только у сплавов $\text{PbSb}_{1,8}\text{Se}$ и $\text{PbCa}_{0,05}\text{Sn}_{1,1}$ (и ленты из него). Например, временное сопротивление разрыву возрастает на 20-30 % для сплава $\text{PbSb}_{1,8}\text{Se}$ и в 2,5...2,7 раза для сплава $\text{PbCa}_{0,05}\text{Sn}_{1,1}$ (возрастает на 20...25 % для ленты из этого сплава). Относительное удлинение для сплава $\text{PbSb}_{1,8}\text{Se}$ снижается на 45...55 %, для сплава $\text{PbCa}_{0,05}\text{Sn}_{1,1}$ – на 55...60 %. При этом относительное удли-

нение свинцово-кальциевых лент снижается незначительно.

Существенное различие в интенсивности изменения механических свойств сплавов от свойств лент при дисперсионном твердении является следствием различной степени искаженности кристаллографической структуры материала. Как уже ранее указывалось, при получении ленты в результате прокатки сплава повышается плотность дислокаций в материале и накапливается большое количество внутренних напряжений. Это приводит к существенному замедлению процессов выделения из твердого раствора свинца кальция, олова и образования интерметаллических фаз на их основе, являющихся основной причиной изменения механических свойств сплавов в процессе дисперсионного твердения.

Выводы

Прокатка свинцово-кальциевых сплавов с деформацией более 90 % повышает их прочностные и снижает пластические свойства. Рост прочностных свойств при холодной деформации сплава $\text{PbCa}_{0,05}\text{Sn}_{1,1}$ значительно выше, чем сплава $\text{PbCa}_{0,1}\text{Sn}_{0,3}$ по сравнению с исходными значениями. Существенное различие в величине характеристик механических свойств до и после деформации у свинцово-кальциевых сплавов с различным содержанием кальция и олова является следствием различий в их кристаллической структуре.

Механические свойства свинцово-сурьмянистых и свинцово-кальциевых сплавов зависят от температуры литейной формы: с повышением температуры литейной формы (снижением переохлаждения сплава в процессе кристаллизации) прочностные свойства снижаются (σ_b уменьшается), пластические свойства возрастают (δ увеличивается). В исследованном диапазоне температур литейной формы 60...170 °C наибольшему влиянию температуры кристаллизации подвержен сплав $\text{PbCa}_{0,1}\text{Sn}_{0,3}$, наименьшему – сплав $\text{PbCa}_{0,05}\text{Sn}_{1,1}$. Свинцово-сурьмянистые сплавы изменяют свои механические свойства в указанном диапазоне температур относительно незначительно.

Сплав $\text{PbSb}_{1,8}\text{Se}$, свинцово-кальциевые сплавы и свинцово-кальциевые ленты из них, используемые для производства токоотводов,

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

являются стареющими и изменяют свои механические свойства при дисперсионном твердении. С увеличением срока дисперсионного твердения прочностные свойства сплавов и лент возрастают (σ_b увеличивается), пластические свойства падают (δ уменьшается). Наиболее интенсивное изменение прочностных свойств с увеличением времени старения отмечено у сплава $PbCa_{0,05}Sn_{1,1}$ и лент, прокатанных из него. Механические свойства сплава $PbCa_{0,1}Sn_{0,3}$ после трех дней естественного старения практически не изменяются.

Прокатка свинцово-кальциевых сплавов с деформацией более 90 % уменьшает интенсивность изменения механических свойств при дисперсионном твердении.

По результатам исследования механических свойств свинцовых сплавов, используемых в аккумуляторном производстве МНПК «ВЕС-ТА», их зависимостей от температуры литейной формы, времени дисперсионного твердения для повышения качества сплавов, совершенствования технологических параметров их использования, повышения производительности агрегатов и снижения себестоимости продукции можно сделать следующие предложения:

- при получении полосы для прокатки отрицательной ленты из сплава $PbCa_{0,1}Sn_{0,3}$ целесообразно увеличить температуру кристаллизации сплава за счет уменьшения водяного охлаждения колеса-кристаллизатора до уровня температуры выходящей полосы 120...160 °C вместо 80...120 °C. Повышение температуры колеса-кристаллизатора (снижение переохлаждения при кристаллизации сплава) приводит к снижению прочностных и повышению пластических свойств полосы, что позволит снизить усилия при прокатке ее в тонкую ленту;

- учитывая то, что прочностные свойства сплава $PbCa_{0,1}Sn_{0,3}$ на 25 % выше, чем у сплава $PbSb_{1,8}Se$, с точки зрения прочности, масса литых токоотводов из сплава $PbCa_{0,1}Sn_{0,3}$ может быть снижена на 25 % по сравнению с аналогичными токоотводами из сплава $PbSb_{1,8}Se$;

- учитывая незначительное изменение механических свойств сплава $PbCa_{0,1}Sn_{0,3}$ в ходе естественного старения, минимальное время хранения литых токоотводов может быть снижено до 3 дней, максимальное – увеличено до более 30 дней.

На основании полученных данных предложены усовершенствования способа получения токоотводов для изготовления свинцово-кислотных аккумуляторных батарей VRLA типа. Содержание усовершенствованного нами способа получения токоотводов составляют все перечисленные результаты и технологические предложения. Эти усовершенствования позволят уменьшить износ технологического оборудования и снизить себестоимость продукции при сохранении всех эксплуатационных ее характеристик.

В качестве перспективы дальнейших исследований мы планируем изучить влияние состава свинцовых сплавов, а также геометрических и электрических параметров аккумуляторов на механическую прочность и коррозионную стойкость межэлементных соединений свинцово-кислотных аккумуляторных батарей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Русин, А. Свинцовые сплавы для современных аккумуляторов. Теория и практика / А. Русин, Л. Хегай, С. Токарчук. – Владивосток : Дальнаука, 2008. – 221 с.
2. Способ получения токоотводов для изготовления свинцово-кислотных аккумуляторных батарей / В. А. Дзензерский, Ю. И. Казача, С. В. Шнуровой, В. А. Иванов, Е. В. Ларенцев, С. В. Бурьлов, В. Ю. Скосарь // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта : тез. докл. 71 Международной науч.-практической конф. (14-15 апреля 2011 г.). – Днепропетровск, 2011. – С. 131–132.
3. Lin, Wei. PbO_2 - SnO_2 Composite Anode with Interconnected Structure for the Electrochemical Incineration of Phenol / Wei Lin // Russian Journal of Electrochemistry. – 2011. – Vol. 47, № 12. – 1394 p.
4. Prengaman, R. David. Challenges from corrosion-resistant grid alloys in lead acid battery manufacturing. / R. David Prengaman // Journal of Power Sources. – 2001. – Vol. 95. – P. 224–233.
5. Prengaman, R. David. The Metallurgy and Performance of Cast and Rolled Lead Alloys for Battery Grids / R. David Prengaman // The Battery Man. – 1997. – September. – P. 16–36.
6. Productions and expletations problems of lead-acid batteries / D. A. J. Rand, D. P. Boden, C. S. Lakshmi, R. F. Nelson, R. D. Prengaman // Источники питания. – 2002. – № 107. – С. 280–300.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

7. Rand, D. A. J. Valve-regulated Lead-Acid Batteries. / D. A. J. Rand. – Amsterdam : ELSEVIER, 2004. – 575 p.
8. Vityaz, P. A. The Intensifying Effect of Carbon Nanoparticles on Formation of Microarc Coatings on Aluminum Alloys / P. A. Vityaz, A. I. Komarov, V. I. Komarova // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. – 2012. – Vol. 48, №. 7. – 780 p.

Ю. І. КАЗАЧА, С. В. ШНУРОВИЙ, В. А. ІВАНОВ, В. А. ДЗЕНЗЕРСЬКИЙ¹,
С. В. БУРИЛОВ², В. Ю. СКОСАРЬ^{3*}

¹ Відділ надпровідних магнітних систем, Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», вул. Писаржевського, 5, г. Дніпропетровськ, Україна, 49005, тел. +38 (056) 370 22 03, ел. пошта itst@westa-inter.com

² Відділ електротехнічних комплексів транспортних засобів, Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», вул. Писаржевського, 5, г. Дніпропетровськ, Україна, 49005, тел. +38 (056) 370 22 03, ел. пошта burylov@westa-inter.com

^{3*} Відділ електротехнічних комплексів транспортних засобів, Інститут транспортних систем і технологій НАН України «Трансмаг», вул. Писаржевського, 5, г. Дніпропетровськ, Україна, 49005, тел. +38 (056) 370 22 03, ел. пошта svu@westa-inter.com

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ Pb-Ca-Sn СПЛАВІВ І СТРІЧОК ДЛЯ СТРУМОВІДВОДІВ ГЕРМЕТИЗОВАНИХ СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ (VRLA)

Мета. Сучасною тенденцією в експлуатації свинцево-кислотних батарей є перехід на використання надійних і безпечних герметизованих VRLA-батарей. Однак, властивості сплавів струмовідводів цих батарей ще недостатньо вивчені. Це гальмує застосування їх у залізничному транспорті. Метою роботи є дослідження залежності механічних властивостей сплавів струмовідводів від температурних умов виливка, деформації прокатки й часу старіння. **Методика.** Визначалися механічні властивості сплавів і струмовідводів на стандартній розривній машині Р-0,5. **Результати.** Прокатка свинцево-кальцієвих сплавів з деформацією більше 90 % підвищує їхню міцність і знижує пластичність. З підвищенням температури ливарної форми (у діапазоні 60...170°C) міцність свинцево-кальцієвих і свинцево-сурм'янистих сплавів зменшується, пластичність збільшується; найбільше це виражено для сплаву PbCa_{0,1}Sn_{0,3}, найменш – для PbCa_{0,05}Sn_{1,1}. Міцність свинцево-кальцієвих і свинцево-сурм'янистих сплавів збільшується, пластичність зменшується зі збільшенням строку старіння; найбільше це виражено для сплаву PbCa_{0,05}Sn_{1,1} і стрічок з нього. **Наукова новизна.** Встановлено, що зниження ступеня переохолодження сплавів при кристалізації приводить до зниження їхньої міцності й зростання пластичності. Сполука й структура сплавів сильно впливають на динаміку їх старіння. **Практична значимість.** Пропонується збільшити температуру кристалізації сплаву для стрічки негативних струмовідводів до 120...160 °C замість 80...120 °C, що підвищить пластичність стрічки й зменшить спрацювання устаткування; замінити сплав литих струмовідводів замість PbSb_{1,8}Se на PbCa_{0,1}Sn_{0,3}, що дозволить зменшити масу їх на 25 % при збереженні міцності; діапазон старіння литих зі сплаву PbCa_{0,1}Sn_{0,3} струмовідводів розширити до 3...30 доби, що скоротить виробничі витрати. Все разом це дозволить зменшити зношування технологічного устаткування й знизити собівартість продукції при збереженні її характеристик.

Ключові слова: свинцево-кальцієві сплави; механічні властивості; VRLA-батареї; прокатка; старіння; кристалізація

Yu. I. KAZACHA, S. V. SHNUROVOY, V. A. IVANOV, V. A. DZENZERSKIY¹,
S. V. BURYLOV², V. YU. SKOSAR^{3*}

¹ Dep. "Superconducting Magnetic System", Institute of Transport Systems and Technologies NAS of Ukraine «Transmag», Piszarshevskogo Str, 5, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49005, tel. +38 (056) 370 22 03, e-mail itst@westa-inter.com

² Dep. "Electrical Complexes of Transport Vehicles", Institute of Transport Systems and Technologies NAS of Ukraine «Transmag», Piszarshevskogo Str, 5, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49005, tel. +38 (056) 370 22 03, e-mail burylov@westa-inter.com

^{3*} Dep. "Electrical Complexes of Transport Vehicles", Institute of Transport Systems and Technologies NAS of Ukraine «Transmag», Piszarshevskogo Str, 5, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49005, tel. +38 (056) 370 22 03, e-mail svu@westa-inter.com

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

RESEARCH OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF PB-CA-SN ALLOYS AND TAPES FOR CURRENT LEADS IN SEALED LEAD-ACID BATTERIES (VRLA)

Purpose. The modern trend in lead-acid battery industry is the changeover to reliable and safe leak-proof VRLA batteries. However, the properties of grid alloys of these batteries are still insufficiently studied, that hampers application of these batteries at railway transport. The purpose of this work is the research of dependence of mechanical properties of grid alloys on temperature conditions of casting, deformation of rolling and ageing time. **Methodology.** Mechanical properties of alloys and grids have been defined at standard tensile testing machine R-0,5. **Findings.** The rolling of lead-calcium alloys with deformation more than 90% raises their durability and reduces their plasticity. When rising the temperature of the casting moulds (in range 60-170°C) the durability of lead-calcium and lead-antimony alloys decreases, and the plasticity increases, that are mostly evident for PbCa0.1Sn0.3 alloy, and least of all – for PbCa0.05Sn1.1 alloy. Durability of lead-calcium and lead-antimony alloys increases and plasticity decreases with increasing the time of ageing: this is mostly evident for alloy PbCa0.05 Sn1.1 and strips made from it. **Originality.** It was determined that decrease of alloys overcooling at crystallization results in drop of their durability and increase of plasticity. The composition and structure of alloys strongly influence dynamics of their ageing. **Practical value.** Authors proposed: a) to increase the temperature of crystallization of alloy for negative grid strip to 120-160°C instead of 80-120°C, that will raise plasticity of strip and reduce deterioration of the equipment; b) to replace PbSb1.8Se alloy of cast grids by PbCa0.1Sn0.3 alloy, that will allow reducing weight of grids by 25 % at the same durability; c) to increase range of ageing of grids cast from PbCa0.1Sn0.3 alloy to 3-30 days that reduces the production costs. It's all taken together will reduce deterioration of the process equipment and cut down production cost at conservation of characteristics of production.

Keywords: lead-calcium alloys; mechanical characteristics; VRLA batteries; rolling; ageing; crystallization

REFERENCES

1. Rusin A.I., Khegay L.A., Tokarchuk S.S. *Svintsovyye splavy dlya sovremennykh akkumulyatorov. Teoriya i praktika* [Lead alloys for advanced batteries. Theory and practice]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2008. 221 p.
2. Dzenzerskiy V.A., Kazacha Yu.I., Shnurovoy S.V., Ivanov V.A., Larenyshev Ye.V., Burylov S.V., Skosar V.Yu. Sposob polucheniya tokootvodov dlya izgotovleniya svintsovo-kislotnykh akkumulyatornykh batarey [A method of producing current leads for the manufacture of lead-acid storage batteries]. *Tezisy dokladov 71 mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii „Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta”* [Proc. of the 71 Int. Scientific and Practical Conf. “Problems and prospects of railway transport development”]. Dnepropetrovsk, 2011, pp. 131-132.
3. Lin Wei. PbO₂-SnO₂ Composite Anode with Interconnected Structure for the Electrochemical Incineration of Phenol. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2011, vol. 47, no. 12, 1394 p.
4. Prengaman R. David. Challenges from corrosion-resistant grid alloys in lead acid battery manufacturing. *Journal of Power Sources*, 2001, vol. 95, pp. 224-233.
5. Prengaman, R. David. The Metallurgy and Performance of Cast and Rolled Lead Alloys for Battery Grids *The Battery Man*, 1997, September, pp. 16-36.
6. Rand D.A.J., Boden D.P., Lakshmi C.S., Nelson R.F., Prengaman R.D. Productions and expluetations problems of lead-acid batteries. *Istochniki pitaniya – Power Supplies*, 2002, no. 107, pp. 280-300.
7. Rand D.A.J. Valve-regulated Lead-Acid Batteries. Amsterdam, ELSEVIER Publ., 2004. 575 p.
8. Vityaz P.A. The Intensifying Effect of Carbon Nanoparticles on Formation of Microarc Coatings on Aluminum Alloys. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 2012, vol. 48, no. 7, p. 780.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Л. А. Манашкиным (США); д.т.н. В. Л. Горобцом (Украина).

Поступила в редколлегию 24.01.2013

Принята к печати 02.04.2013

УДК 625.144.5:620.178.311

С. А. КОСТРИЦЯ¹, Б. М. ТОВТ^{2*}¹Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна.^{2*}Каф. «Теоретична механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (063) 739 13 17, ел. пошта tovt@ua.fm

ОПТИМІЗАЦІЯ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПЛАНУВАЛЬНИКА БАЛАСТНОЇ ПРИЗМИ СПЗ-5/UA

Мета. У статті наведені результати оптимізаційного дослідження та раціональні проекти несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA. Обґрунтовано необхідність проведення оптимізації конструкції досліджуваної машини. **Методика.** Виконано постановку задачі оптимізації конструкції, у тому числі визначено площу поперечного перерізу повздовжньої балки несучої рами машини у якості цільової функції, накладено обмеження у вигляді умови міцності за критерієм допустимих напружень. **Результати.** Розроблено спрощену скінченно-елементну стрижневу модель несучої конструкції планувальника. У якості контрольного прикладу розглянуто задачу оптимізації двотаврового поперечного перерізу, для якої отримано аналітичний і чисельний розв'язки. **Наукова новизна.** Отримані раціональні параметри несучої конструкції досліджуваної машини зі зниженою матеріалоемністю при збереженні міцнісних характеристик. **Практична значимість.** За допомогою чисельної процедури оптимізації конструкцій виконано оптимізаційне дослідження для несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA. Отримані раціональні проекти конструкції порівняно з проектами, у яких використано стандартні двотаврові перерізи. Встановлено, що використання проектів зі стандартними поперечними перерізами не дозволяє отримати конструкцію, кращу за запропоновану раціональну. Як результат, отримана раціональна конструкція колійної машини, що розглядається, має достатній запас міцності. Поперечний переріз основної повздовжньої балки несучої рами планувальника зменшено на 73 %.

Ключові слова: планувальник баластної призми СПЗ-5; оптимізація; дослідження напружено-деформованого стану; утомна міцність; МСЕ

Постановка задачі оптимізації

Планувальник баластної призми СПЗ-5 – колійна машина, призначена для планування і перерозподілу свіжевідсипаного баласту за усіх видів ремонту і поточного утримання залізничної колії, а також при її будівництві.

Для несучої конструкції досліджуваної машини був виконаний розрахунок за методом скінченних елементів (МСЕ). Галузевою науково-дослідною лабораторією динаміки та міцності рухомого складу ДПТГ були проведені ходові динамічні випробування на міцність [1].

Дослідження конструкції за МСЕ показало, що міцність несучої рами машини СПЗ-5 забезпечується як у транспортному, так і у всіх робочих режимах, причому дійсні напруження значно нижчі за нормативні значення. Результати обробки експериментальних даних показали, що втомлювальна міцність несучої рами забезпечена, оскільки мінімальне отримане значення коефіцієнту запасу втомлювальної мі-

цності не менше за нормативне значення. Аналіз отриманих у [1] результатів показав, що конструкція планувальника баластної призми має значний запас міцності і її маса може бути зменшена. Для вирішення означеної задачі пропонується використати методи математичного програмування.

Теорія оптимального проектування конструкцій є тим ключовим напрямком науки, на базі досягнень якої мають створюватися ефективні конструкції. Кількість публікацій, присвячених теорії оптимізації конструкцій зростає [8, 7, 6, 5].

Досліджуваний об'єкт було оптимізовано за допомогою процедури чисельної оптимізації конструкцій, запропонованої у [2].

Для проведення оптимізаційних розрахунків було створено спрощену скінченно-елементну модель рами планувальника, яка показана на рис. 1. Оскільки несуча рама машини та схема прикладеного до неї навантаження симетричні

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

відносно повздовжньої вісі, то розрахунки проводилися для половини конструкції. Побудова спрощеної моделі супроводжувалася спеціальними контрольними розрахунками з метою отримання результатів, ідентичних повній моделі [1]. Несучі балки моделювалися універсальними стрижневими скінченними елементами.

Оптимізаційні розрахунки проводилися для транспортного режиму (статичного навантаження з урахуванням коефіцієнту динаміки).

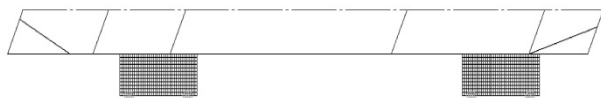


Рис. 1. Скінченно-елементна модель рами планувальника баластної призми СПЗ-5/UA

Поперечні балки рами колійної машини було виключено з оптимізації, оскільки зміна їх розмірів є недоцільною з технологічних причин.

У якості цільової функції виступила площа поперечного перерізу повздовжньої балки несучої рами машини:

$$\psi_0 \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\psi_0 = 2Bt + Hd, \text{ см}^2 \quad (2)$$

де H – висота двотаврового поперечного перерізу; B – ширина полиці; t – товщина полиці; d – товщина стійки перерізу.

Обмеження на змінні стану задавалися у вигляді умови міцності:

$$\frac{\sigma}{[\sigma]} \leq 1, \quad (3)$$

де σ – значення напруження у транспортному режимі;

$[\sigma]$ – допустиме напруження для матеріалу, з якого виготовлено конструкцію. При проведенні розрахунків ці напруження згідно [3, 4] були взяті для сталі 09 Г2 $[\sigma] = 155$ МПа.

Обмеження на змінні проектування були обрані наступним чином: висота перерізу H обмежувалася умовою невід’ємності її значення, ширина полиці B обмежувалася з конструктивних причин, товщина полиці t обмежувалася значенням 1 см з технологічних причин, товщина стійки d обмежувалася значенням 0,7 см з умови забезпечення стійкості перерізу.

Причому було проведено додаткові оптимізаційні розрахунки, у яких товщина стійки d була обмежена значенням 0,6 см. Обмеження на змінні проектування записалися таким чином:

$$\begin{aligned} 0 < H &\leq 30, \text{ см;} \\ B &\geq 10, \text{ см;} \\ t &\geq 1, \text{ см;} \\ d &\geq 0,7, \text{ см;} \end{aligned} \quad (4)$$

або

$$d \geq 0,6, \text{ см.}$$

У якості початкового проекту було обрано реальний проект конструкції з наступними значеннями змінних проектування: $H = 30$ см, $B = 30$ см, $t = 1,9$ см, $d = 1,1$ см. Далі цей проект скорочено називатиметься проект (30; 30). З метою контролю роботи оптимізаційної процедури було виконано додаткові оптимізаційні розрахунки з початковим проектом, який мав такі значення змінних проектування: $H = 20$ см, $B = 20$ см, $t = 1,9$ см, $d = 1,1$ см. Далі цей проект буде скорочено називатися проект (20; 20).

У якості умови зупинки процесу оптимізації було обране просте правило, згідно якого оптимізація зупиняється у тому разі, якщо значення цільової функції на наступній ітерації перевищує значення на попередній, тобто:

$$\psi_0^{(n+1)} > \psi_0^{(n)},$$

де $\psi_0^{(n)}$ – значення цільової функції на n ітерації,

$\psi_0^{(n+1)}$ – значення цільової функції на $n+1$ ітерації.

Таким чином, ставиться задача знаходження такого найменшого значення площі поперечного перерізу повздовжньої балки несучої рами машини СПЗ-5, при якому б напруження у конструкції планувальника не перевищували б нормативного значення, а значення змінних проектування знаходилися б у допустимих обмеженнях меж.

Задача оптимізації двотаврового поперечного перерізу

З метою аналізу і контролю результатів оптимізації несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5 розглянемо задачу оптимізації двотаврового поперечного перерізу, для якої були отримані точне і чисельне рішення

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ня. Ця задача по суті є спрощеним варіантом задачі оптимізації конструкції планувальника. У якості змінних проектування виступили два параметри перерізу – висота H і ширина полиці B .

Схему двотаврового поперечного перерізу наведено на рис. 2.

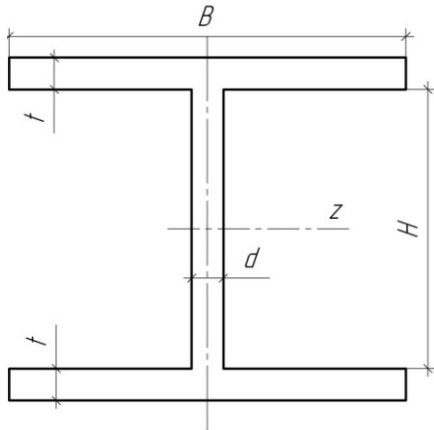


Рис. 2. Схема двотаврового поперечного перерізу

У якості цільової функції, яка буде мінімізуватися, оберемо площу поперечного перерізу двотавра (1). Вираз для цільової функції співпадає із тим, який прийнятий у задачі оптимізації конструкції планувальника (2).

Перейменуємо змінні проектування $H = x_1$, $B = x_2$ і переписемо вираз для цільової функції:

$$\psi_0 = x_1 d + 2x_2 t.$$

Момент опору двотаврового поперечного перерізу запишеться так:

$$W_z \approx \frac{2}{H} \left[\frac{dH^3}{12} + 2 \left(\frac{H}{2} \right)^2 Bt \right] = \frac{dH^2}{6} + HBt. \quad (5)$$

Враховуючи перейменовані змінні, вираз для моменту опору прийме вигляд:

$$W_z = \frac{dx_1^2}{6} + x_1 x_2 t \equiv W_0. \quad (6)$$

Виділимо змінну проектування x_2 з (6):

$$x_2 = \frac{W_0 - \frac{x_1^2 d}{6}}{x_1 t} = \frac{W_0}{x_1 t} - \frac{x_1 d}{6t}. \quad (7)$$

Вводимо скорочення: $C = W_0/t$, $D = d/6t$ і запишемо (7) у вигляді:

$$x_2 = \frac{C}{x_1} - Dx_1. \quad (8)$$

Враховуючи (8), вираз для цільової функції матиме вигляд:

$$\psi_0 = x_1 d + 2t \left(\frac{C}{x_1} - Dx_1 \right). \quad (9)$$

Візьмемо часткову похідну від виразу для цільової функції (9) по змінній проектування x_1 :

$$\frac{\partial \psi_0}{\partial x_1} = d + 2t \left(-\frac{C}{x_1^2} - D \right). \quad (10)$$

Прирівнявши нулю похідну від цільової функції, знайдемо точний вираз для оптимального значення змінної проектування x_1 :

$$x_1 = \sqrt{\frac{3W_0}{d}},$$

$$H \approx 1,73 \sqrt{\frac{W_0}{d}}. \quad (11)$$

Точний вираз для оптимального значення змінної проектування x_2 матиме вигляд:

$$x_2 = \frac{1}{2\sqrt{3}} \frac{\sqrt{W_0 d}}{t},$$

$$B \approx 0,289 \frac{\sqrt{W_0 d}}{t}. \quad (12)$$

Вирази (11) і (12) є аналітичним рішенням задачі оптимізації двотаврового поперечного перерізу. Задаючись певними значеннями моменту опору перерізу W_0 , товщиною полиці t і товщиною стійки d , за (11) і (12) можна обчислити оптимальні значення висоти H і ширини полиці B двотаврового поперечного перерізу.

Для цієї ж задачі був отриманий чисельний розв'язок за допомогою процедури чисельної оптимізації конструкцій, запропонованої у [2].

На рис. 3 наведено графіки залежності цільової функції ψ_0 від змінної проектування H , отримані аналітично і чисельно.

Чисельні результати оптимізаційних розрахунків зведено до табл. 1.

Таблиця 1

Співставлення результатів аналітичної і чисельної оптимізації двотаврового поперечного перерізу

Рішення	Точне	Чисельне	Похибка, %
H^{opt} , см	41,4	41,6	0,04
ψ_0^{opt} , см ²	38,6	40,9	6,0

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Аналіз результатів оптимізації, проілюстрованих на рис. 3 і зведених до табл. 1, вказує на те, що аналітичний і чисельний оптимізаційний розрахунки добре узгоджуються, адже розходження в оптимальному значенні змінної проектування H^{opt} , отримане аналітично і чисельно, складає лише 0,04 %, тобто практично відсутнє, а оптимальне значення цільової функції ψ_0^{opt} за двома розв'язками відрізняється на 6 %.

Таке розходження у значеннях цільової функції ψ_0^{opt} пояснюється тим, що при аналітичному розв'язку задачі задля спрощення було використано наближений вираз для визначення моменту опору поперечного перерізу W_z (5), у той час, як до алгоритму чисельної процедури було закладено точний вираз для обчислення моменту опору поперечного перерізу W_z .

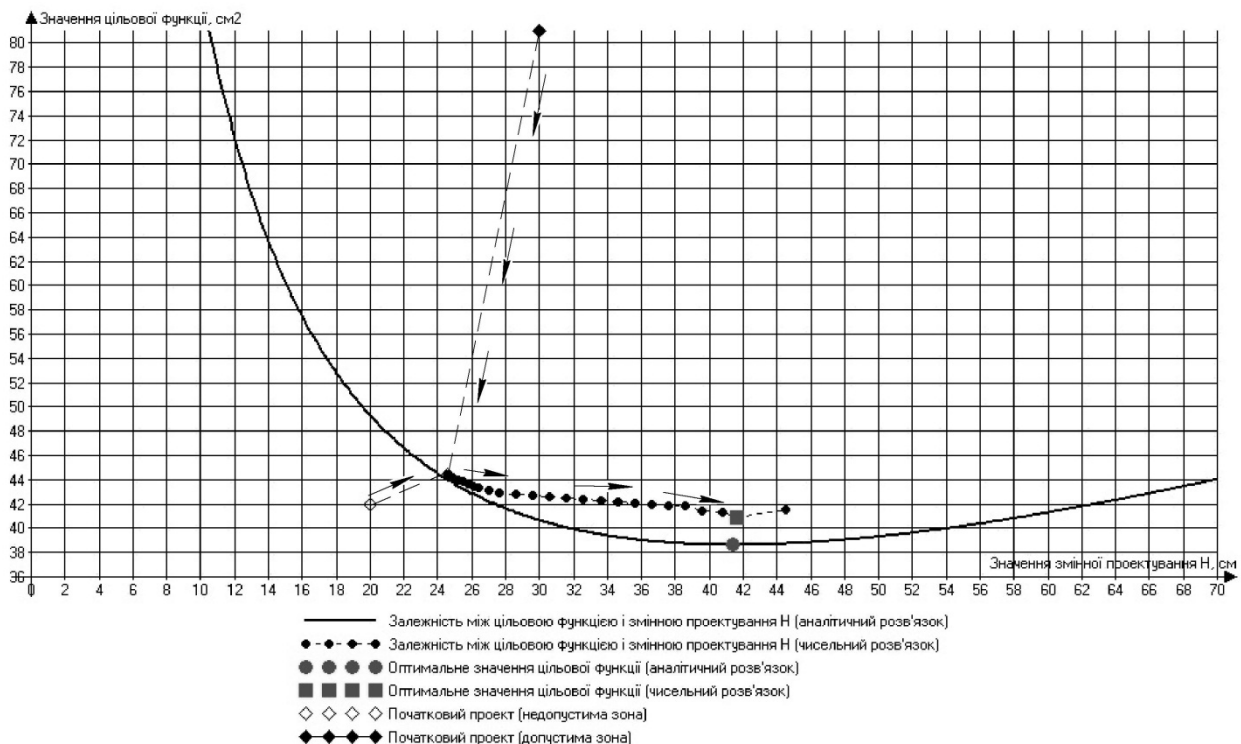


Рис. 3. Залежність цільової функції ψ_0 від змінної проектування H

Результати рішення задачі оптимізації двотаврового поперечного перерізу показали, що запропонована у [2] процедура чисельної оптимізації конструкцій може бути використана для оптимізації несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5.

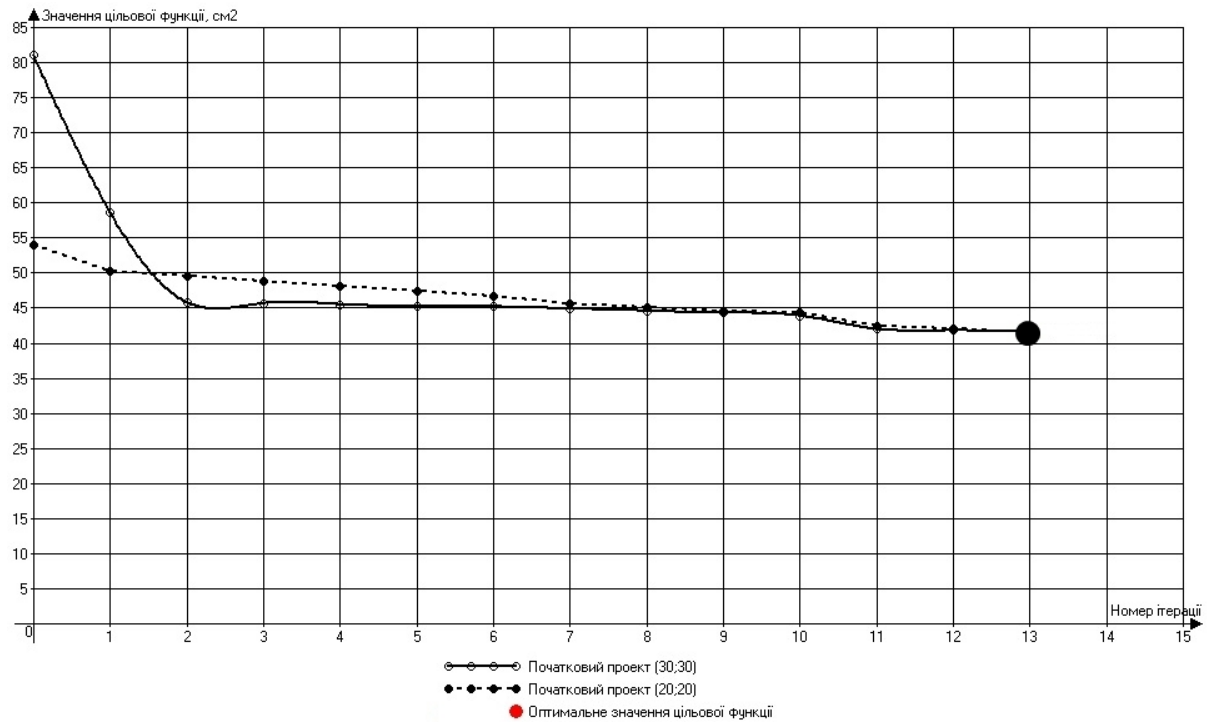
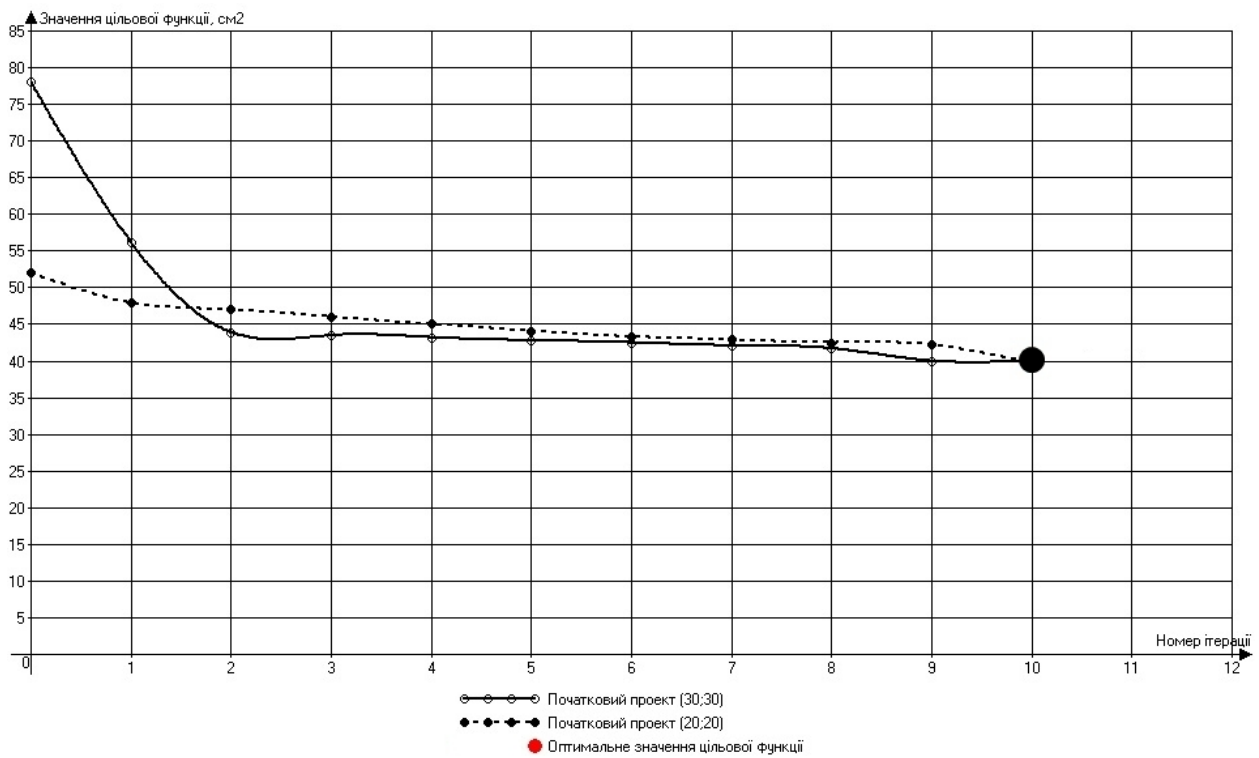
Оптимізація несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA

Результати оптимізації несучої конструкції рами планувальника проілюструємо на рис. 4–9. На вказаних рисунках за віссю абсцис відкладено номер ітерації, за віссю ординат –

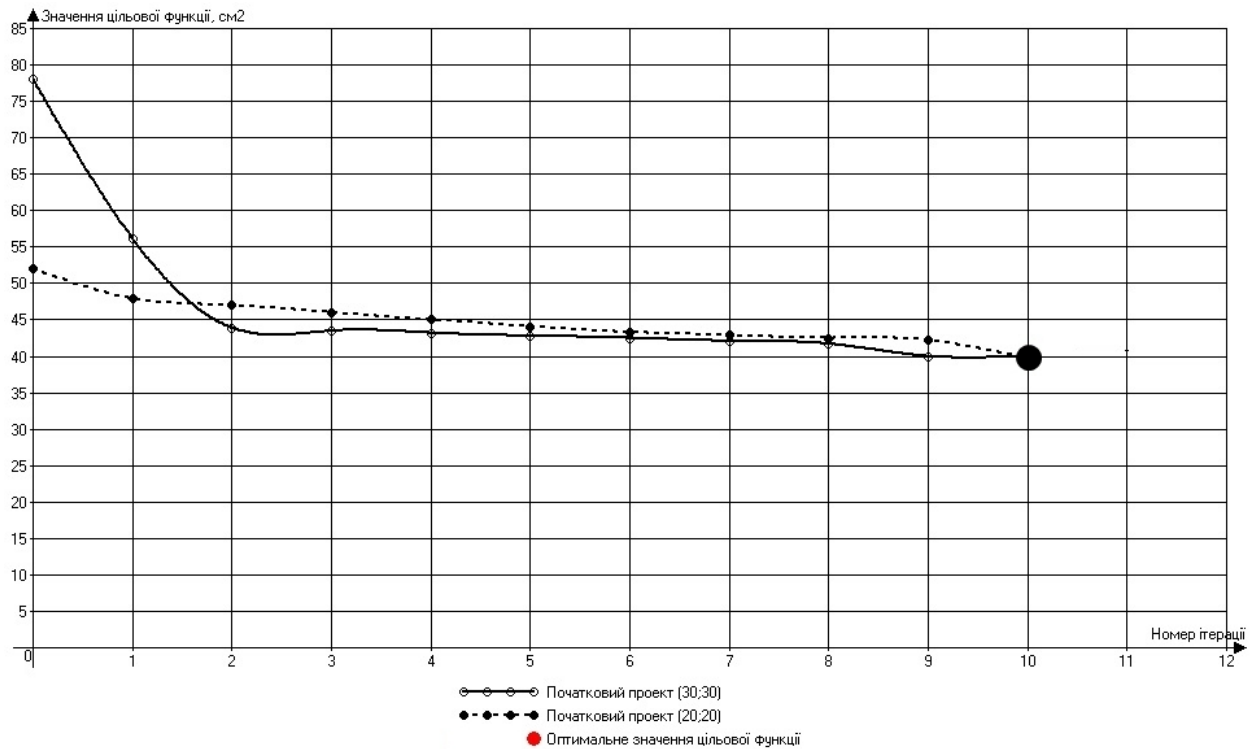
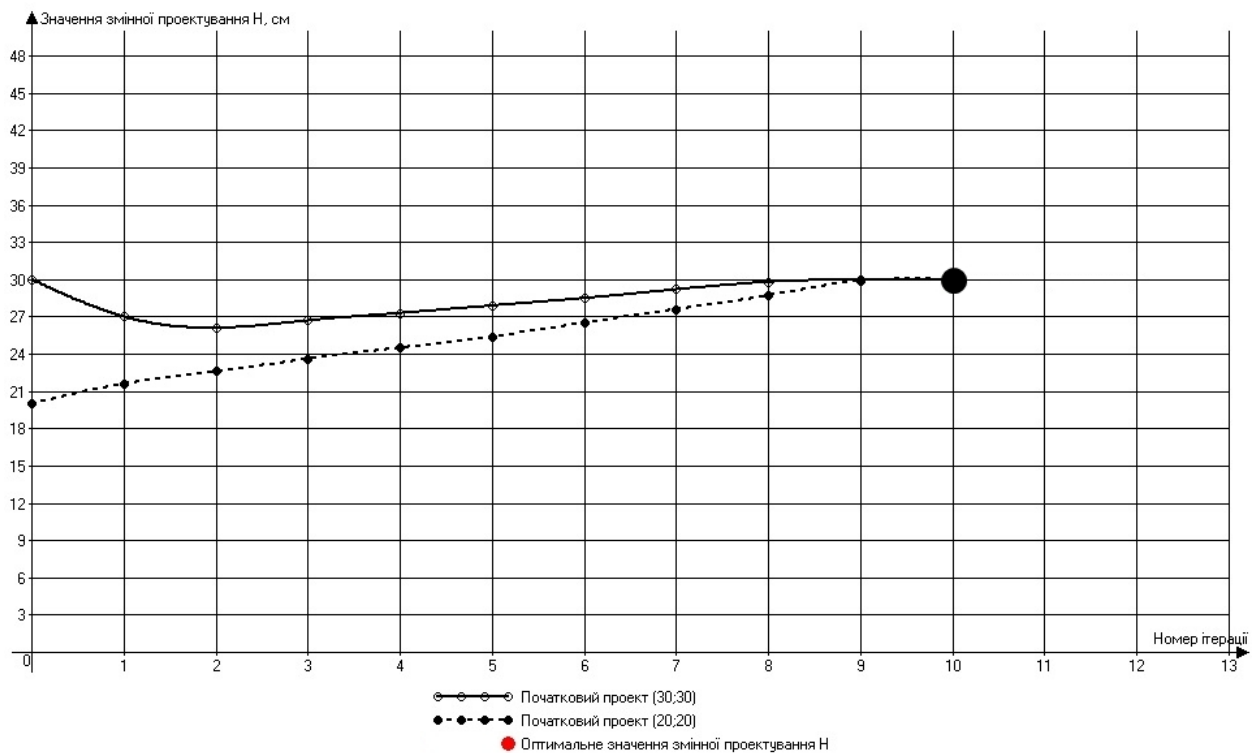
значення цільової функції (рис. 4, 5), або змінної проектування (рис. 6–9).

Перш ніж перейти до обговорення результатів, слід зупинитися на питанні інтерпретації результатів, отриманих при оптимізації, тобто оптимальних проектів. Слід розділяти поняття проекту, оптимального з математичної точки зору, і поняття проекту, оптимального з інженерно-технологічної точки зору, оскільки, як правило, оптимальні проекти, отримані аналітичним шляхом, є неприйнятними з інженерно-технологічних причин.

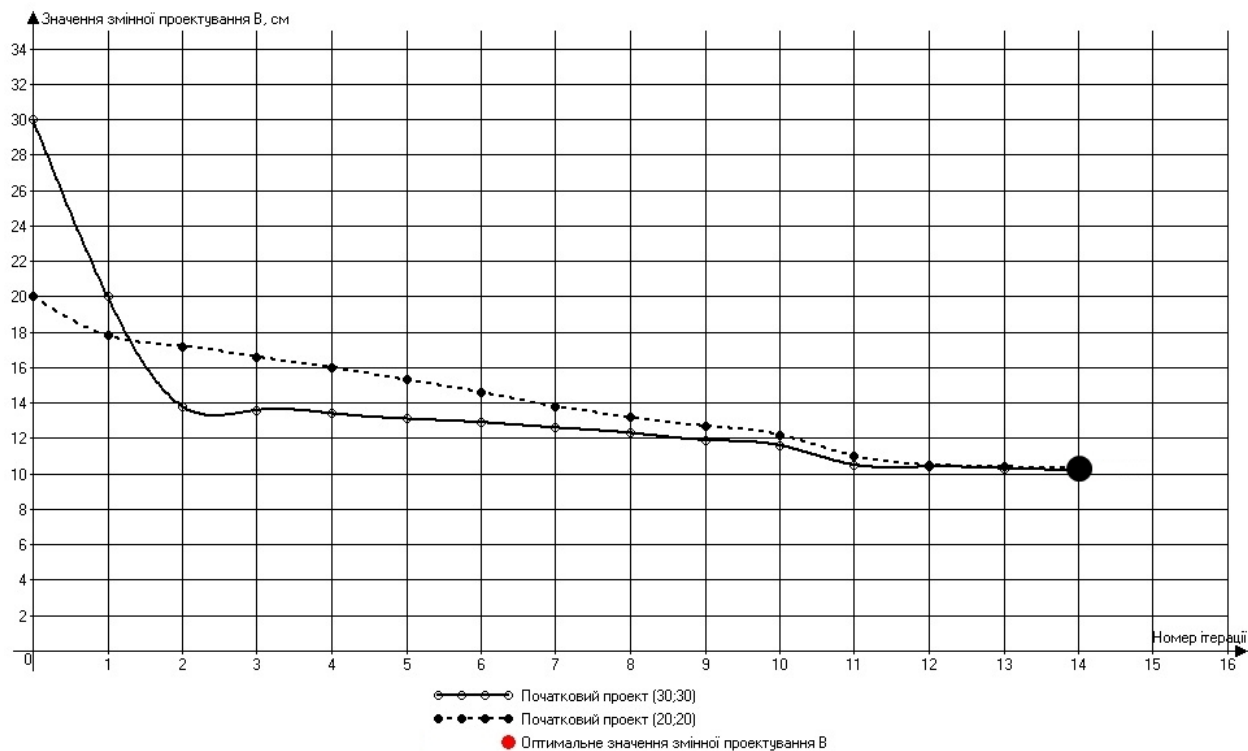
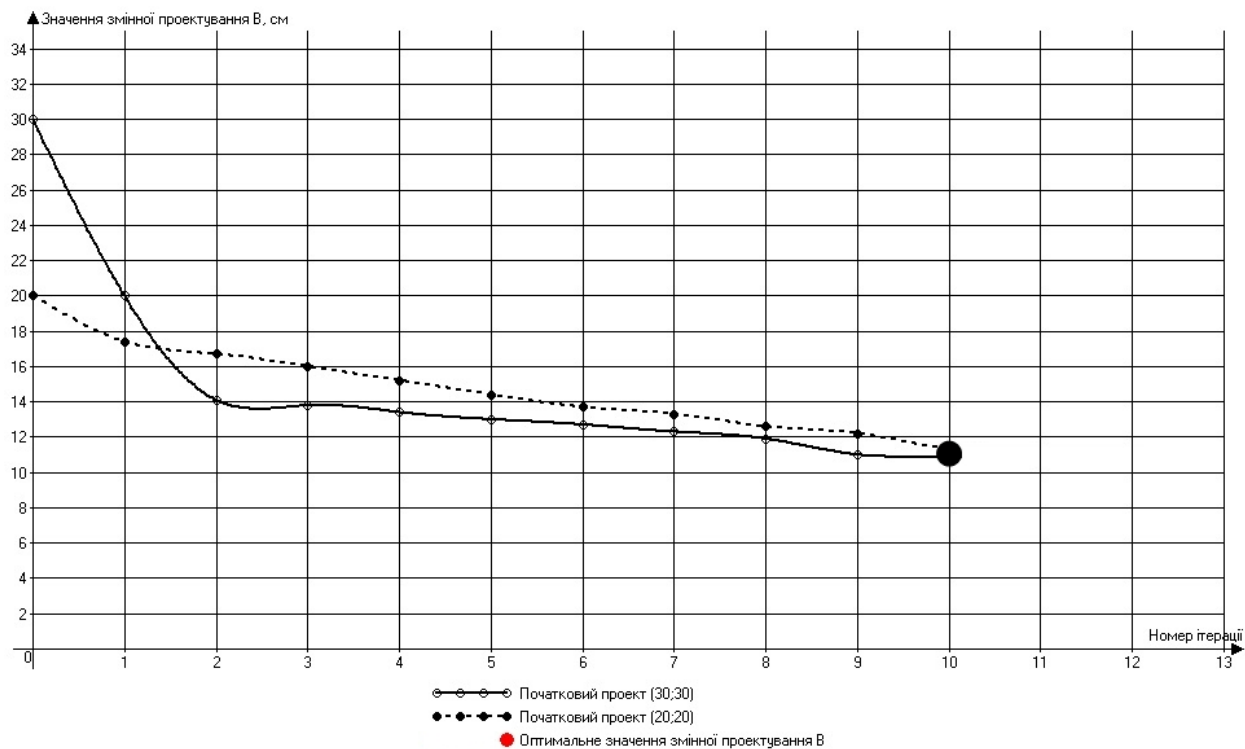
РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Рис. 4. Цільова функція задачі оптимізації (проект з $d = 0,7$ см)Рис. 5. Цільова функція задачі оптимізації (проект з $d = 0,6$ см)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Рис. 6. Висота H двотаврового поперечного перерізу (проект з $d = 0,7$ см)Рис. 7. Висота H двотаврового поперечного перерізу (проект з $d = 0,6$ см)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Рис. 8. Ширина полиці B двотаврового поперечного перерізу (проект з $d = 0,7$ см)Рис. 9. Ширина полиці B двотаврового поперечного перерізу (проект з $d = 0,6$ см)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Оскільки у задачі оптимізації, яка розглядається, обмеження (4) на змінні проектування H , B і t накладені відповідно з конструктивних або технологічних причин, то проекти, які отримані в результаті оптимізації, будуть оптимальними з інженерно-технологічної точки зору.

Як видно з рис. 4–9, процедура оптимізації конструкції досліджуваної машини тривала від 10 до 13 ітерацій, в залежності від обраного початкового проекту.

Аналіз результатів оптимізації, проілюстрованих на графіках цільової функції задачі оптимізації (рис. 4, 5) і графіках змінних проектування (рис. 6–8), показує, що обидва оптимізаційні розрахунки різних початкових проектів (проект (30;30) і проект (20;20)) збігаються до єдиного оптимального рішення, що свідчить про збіжність процедури та її задовільну роботу.

Варто звернути увагу на графіки зміни висоти перерізу H для оптимізаційних розрахунків з початковим проектом (30; 30) см (рис. 6, 7), на яких видно характерний злам на 2-й ітерації. Такий хід оптимізації пояснюється низьким рівнем напружень у початковому проекті конструкції ($\sigma = 77$ МПа). Алгоритм процедури оптимізації виводить поточний проект на рівень допустимих напружень, які дорівнюють

номінальному значенню $[\sigma] = 155$ МПа [3, 4], фактично зменшуючи значення H , після чого картина оптимізаційного процесу набуває звичного вигляду – монотонного збільшення значення змінної проектування.

Для отриманих раціональних проектів двотаврових поперечних перерізів згідно БНіП П-23-81* було виконано розрахунок на стійкість від навантаження, діючого вздовж площини стійки. За результатами розрахунків було встановлено, що для отриманих раціональних проектів двотаврових поперечних перерізів (рис. 9, в, г) стійкість забезпечується.

Порівняємо отримані раціональні проекти перерізів зі стандартним двотавровим перерізом № 30 за ГОСТ 8239-89, параметри якого задовольняють обмеженням (4) (рис. 9). До табл. 2 зведемо отримані результати оптимізації конструкції планувальника.

Як видно з табл. 2, використання стандартного перерізу не дозволяє отримати оптимальну конструкцію, адже цільова функція в оптимальних проектах, що отримані чисельно, менша за значенням. Окрім того, при використанні стандартного перерізу конструкція є недоважана, напруження у конструкції при транспортному режимі 147 МПа менші за нормативне значення 155 МПа.

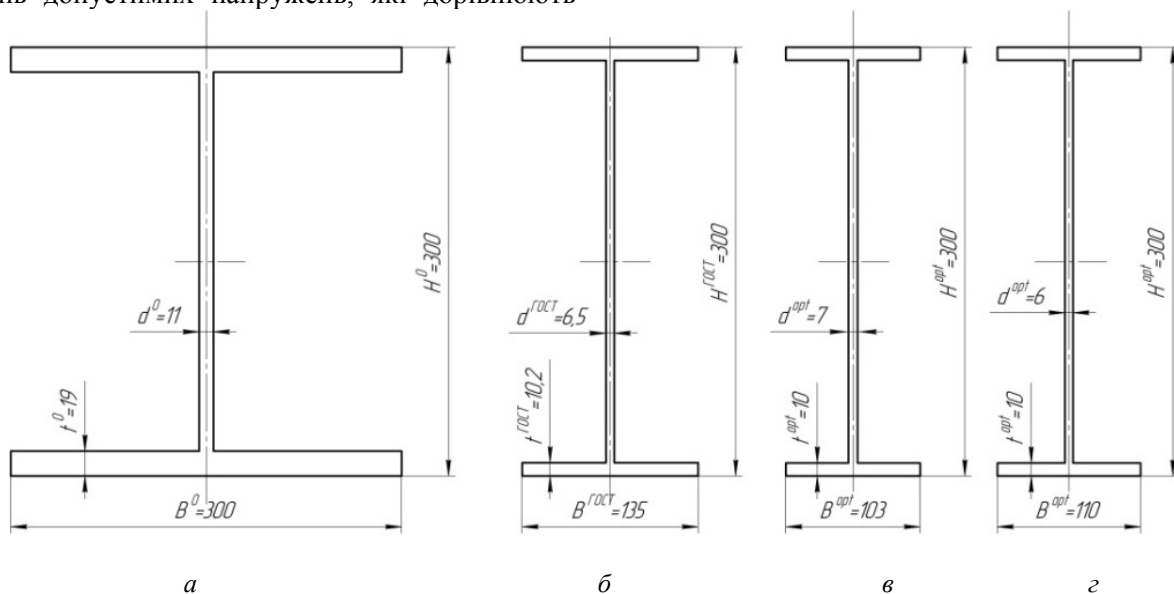


Рис. 10. Реальний і оптимальні проекти поперечних перерізів повздовжньої балки машини СПЗ-5/UA

а) реальний проект; б) двотавр № 30 ГОСТ 8239-89;

в) раціональний проект з $d = 7$ мм; г) раціональний проект з $d = 6$ мм

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Перевірка результатів оптимізації була виконана на повній моделі [1]. На рис. 10, 11 зображено поля розподілу головних напружень σ_1 у несучому елементі конструкції машини СПЗ-5, у транспортному режимі відповідно до оптимізації і після.

Дослідження НДС раціональної несучої конструкції планувальника баластної призми від дії статичного навантаження показало, що середня частина конструкції залишилася найбільш навантаженою, що видно з рис. 11–12. Зона максимальних напружень розташована у полиці основної несучої повздовжньої балки, поряд із місцем підвішування середнього плуга у транспортному положенні. Максимальне значення еквівалентних напружень за теорією міцності Губера–Мізеса–Генкі з урахуванням коефіцієнту динаміки, який приймався рівним

$k = 1,5$ [3], складає близько 154,7 МПа, що не перевищує допустиме значення, яке становить 155 МПа [3, 4].

У табл. 3 наведено результати розрахунків коефіцієнту запасу утомної міцності оптимізованої несучої конструкції планувальника.

Згідно [3, 4] утомна міцність несучої рами дослідної машини вважається забезпеченою, якщо у всьому діапазоні швидкостей, для яких проводилися випробування коефіцієнтів запасу утомної міцності, не перевищують нормативного значення $[n] = 1,5$.

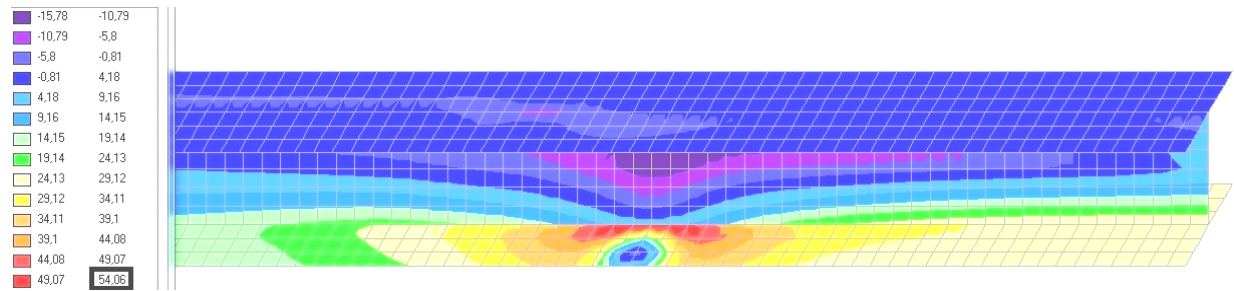
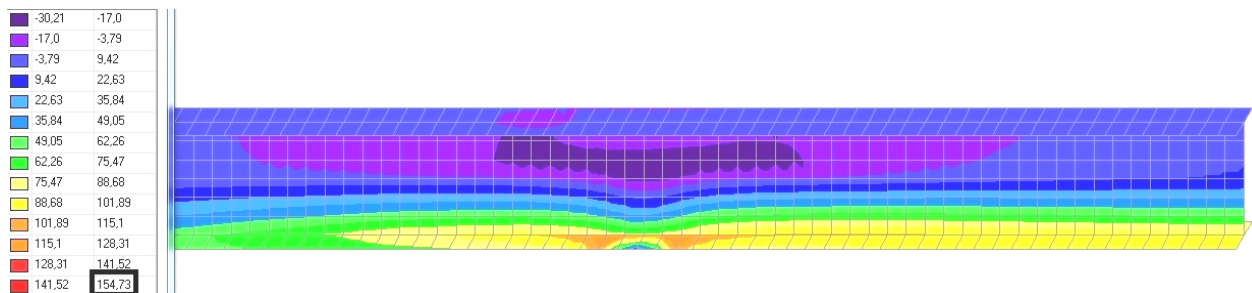
Виконані розрахунки показали, що мінімальне значення коефіцієнту запасу утомної міцності 1,61 було отримане для точки С1 [1], що не менше нормативного значення.

Таблиця 2

Результати оптимізації несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA

	Реальний проект ($d = 1,1$ см, $t = 1,9$ см)	Двотавр № 30 ГОСТ 8239-89 ($d = 6,5$ см, $t = 1,02$ см)	Раціональний проект ($d = 0,6$ см, $t = 1$ см)	Раціональний проект ($d = 0,7$ см, $t = 1$ см)
H_0 , см	30			
B_0 , см	30			
H^{opt} , см	–	30		
B^{opt} , см	–	13,5	11,0	10,3
W_z , см ³	1612	465	382	374
σ , МПа	51	147	155	155
$[\sigma]$, МПа	155			
ψ_0^0 , см ²	147			
ψ_0^{opt} , см ²	–	46,5	40,0	41,6
$\Delta\psi_0$, %	–	68	73	72

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Рис. 11. Поля еквівалентних напружень у центральній частині несучої рами
Реальний проект, статичне навантаження, (МПа)Рис. 12. Поля еквівалентних напружень у центральній частині несучої рами
Рациональний проект, статичне навантаження, (МПа)

Таблиця 3

Коефіцієнти запасу утомної міцності оптимізованої несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5

Місце конструкції	σ_m , МПа	σ_a , МПа	n	$[n]$
C1	72	36	1,61	1,5
C2	47	24	2,46	
C4	60	30	1,93	
P4	52	26	2,23	
P5	52	26	2,23	

Отримані результати дають право стверджувати, що раціональна несуча конструкція планувальника баластної призми СПЗ-5/UA має достатній запас міцності.

Висновки

У результаті оптимізації несучих елементів конструкції рами планувальника баластної призми, зокрема повздовжньої балки двотаврового поперечного перерізу, отримано 73 % зменшення її поперечного перерізу. У перерахунку на масу матеріалу, це складе 1 114 кг зекономленого металу на одну машину (з урахуванням того, що існуюча балка важить 1 529 кг, а оптимізована – 415 кг).

Використання стандартного двотаврового перерізу № 30 за ГОСТ 8239-89 не дозволяє отримати конструкцію, кращу за запропоновані раціональні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Костриця, С. А. Дослідження напружено-деформованого стану несучих елементів конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA / С. А. Костриця, Б. М. Товт // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 38. – С. 17–23.
2. Костриця, С. А. Чисельна реалізація методів математичного програмування в задачах оптимального проектування механічних конструкцій / С. А. Костриця, Б. М. Товт // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 30. – С. 150–154.
3. ОСТ 32.62-96. Нормы прочности металлоконструкций путевых машин. – Введ. 1997-01-01. – М. : ВНИИЖТ МПС РФ, 1996. – 36 с.
4. ОСТ 32.53-96. Система испытаний подвижного состава. Организация и порядок проведения приёмочных и сертификационных испытаний тягового подвижного состава. – Введ. 1996-11-07. – М. : ВНИИЖТ МПС РФ, 1996. – 27 с.
5. Floudas, C. A. Encyclopedia of Optimization / C. A. Floudas, P. M. Pardalos. – New York : Springer Science, 2009. – 4246 p.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

6. Rozvany, G. I. N. Aims, scope, methods, history and unified terminology of computer-aided topology optimization in structural mechanics / G. I. N. Rozvany // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2001. – № 21. – P. 90–108.
7. Rozvany, G. I. N. Grillages of maximum strength and maximum stiffness / G. I. N. Rozvany // International Journal of Mechanical Science. – 1972. – № 14. – P. 1217–1222.
8. Schmit, L. A. Structural design by systematic synthesis / L. A. Schmit // Electronic computation : proc. of the second ASCE conference (8–9 September 1960). – Pittsburgh : ASCE. – 1960. – P. 105–122.

С. А. КОСТРИЦА¹, Б. Н. ТОВТ^{2*}¹Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина.^{2*}Каф. «Теоретическая механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (063) 739 13 17, эл. почта tovt@ua.fm

ОПТИМИЗАЦИЯ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПЛАНИРОВЩИКА БАЛЛАСТНОЙ ПРИЗМЫ СПЗ-5/UA

Цель. В статье приведены результаты оптимизационного исследования и рациональные проекты несущей конструкции планировщика балластной призмы СПЗ-5/UA. Обоснована необходимость проведения оптимизации конструкции исследуемой машины. **Методика.** Выполнена постановка задачи оптимизации, в том числе определена площадь поперечного сечения продольной балки несущей рамы машины в качестве целевой функции, наложены ограничения в виде условия прочности по критерию допустимых напряжений. **Результаты.** Разработана упрощённая конечно-элементная стержневая модель несущей конструкции планировщика. В качестве контрольного примера рассмотрена задача оптимизации двутаврового поперечного сечения, для которой получены аналитическое и численное решения. **Научная новизна.** Получены рациональные проекты несущей конструкции исследуемой машины со сниженной материалоёмкостью при сохранении прочностных характеристик. **Практическая значимость.** При помощи численной процедуры оптимизации конструкций выполнено оптимизационное исследование для несущей конструкции планировщика балластной призмы СПЗ-5/UA. Полученные рациональные проекты конструкции в сравнении с проектами, в которых использованы стандартные двутавровые сечения. Установлено, что использование проектов со стандартными поперечными сечениями не позволяет получить конструкцию, лучшую в сравнении с рациональной. Как результат, получена рациональная конструкция путевой машины, которая рассматривается, имеет достаточный запас прочности. Поперечное сечение основной продольной балки несущей рамы планировщика уменьшено на 73 %.

Ключевые слова: планировщик балластной призмы СПЗ-5; оптимизация; исследование напряжённо-деформированного состояния; усталостная прочность; МКЭ

S. A. KOSTRITSYA¹, B. M. TOVT^{2*}¹ Dep. "Structural Mechanics", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine.^{2*} Dep. "Theoretical Mechanics", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (063) 739 13 17, e-mail tovt@ua.fm

OPTIMIZATION OF BEARING STRUCTURE OF BALLAST LEVELING MACHINE SPZ-5/UA

Purpose. The results of the optimization investigation and the rational projects of the bearing structure of ballast leveling machine SPZ-5/UA are brought in this paper. The necessity of realization of structural optimization of the investigated machine is reasonable. **Methodology.** The statement of the optimization problem is executed: the beam cross-section square is taken as the objective function; the allowable stresses criterion is taken as the constraint in

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

this problem statement. **Findings.** The simplified FE-model of structure of machine is worked out. The optimization problem of double-T cross-section is considered as a test case. For this problem we can obtain the analytical and numeral solutions. **Originality.** The rational designs for the bearing structure of the investigated machine are brought with the increased consumption of material with preservation of durability characteristics. **Practical value.** The optimization investigation is executed for bearing structure of the ballast leveling machine SPZ-5/UA by the use of the numerical structural optimization procedure. The obtained rational structural projects are compared to the structural projects with standard double-T cross-sections. It is shown that the use of structural projects with standard cross-sections makes it impossible to obtain the better structure as compared to the rational project. As a result the rational structural project of the ballast leveling machine is obtained, which have the sufficient safety factor. The cross-section of the main longitudinal beam of the bearing structure of leveling machine is decreased on 73%.

Key words: ballast leveling machine SPZ-5; optimization; deflected mode investigation; fatigue strength; FEM

REFERENCES

1. Kostriytsia S.A., Tovt B.M. Doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu nesuchykh elementiv konstrukttsii planuvannya balastnoi pryzmy SPZ-5/UA [Investigation of the stress-strain state of the construction bearing elements of the ballast leveling machine SPZ-5/UA]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*. [Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 17-23.
2. Kostriytsia S.A., Tovt B.M. Chyselna realizatsiia metodiv matematychnoho prohramuvannia v zadachakh optymalnoho proektuvannia mekhanichnykh konstrukttsii [Numerical implementation of the mathematical programming methods in the tasks of the mechanical structure engineering]. *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 30, pp. 150-154.
3. OST 32.62-96. Normy prochnosti metallokonstrukttsiy putevykh mashin [Branch Standard 32.62-96. Strength standards of the steel construction of track machines]. Moscow, VNIIZhT MPS RF Publ., 1996. 36 p.
4. OST 32.53-96. Sistema ispytaniy podvizhnogo sostava. Organizatsiya i poryadok provedeniya priyemochnykh i sertifikatsionnykh ispytaniy tyagovogo podvizhnogo sostava [Branch Standard 32.53-96. Test system of the rolling stock. Organization and procedure of acceptance and certification test of the traction rolling stock]. Moscow, VNIIZhT MPS RF Publ., 1996. 27 p.
5. Floudas C.A., Pardalos P.M. Encyclopedia of Optimization. New York, Springer Science Publ., 2009. 4246 p.
6. Rozvany G.I.N. Aims, scope, methods, history and unified terminology of computer-aided topology optimization in structural mechanics. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2001, no. 21, pp. 90-108.
7. Rozvany G.I.N. Grillages of maximum strength and maximum stiffness. *International Journal of Mechanical Science*, 1972, no. 14, pp. 1217-1222.
8. Schmit L.A. Structural design by systematic synthesis. [Proc. of the second ASCE conference on electronic computation]. Pittsburgh, 1960, pp. 105-122.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. С. В. Ракишою (Україна); д.т.н., проф. С. В. Білодєденко (Україна)

Надійшла до редколегії 30.03.2013.

Прийнята до друку 09.04.2013

УДК 625.1.032.3:[629.463.65.027.23:519.87]

А. В. САИДОВА^{1*}, А. М. ОРЛОВА²^{1*} Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», ФГБОУ ВПО «ПГУПС», д. 9, Московский проспект, г. Санкт-Петербург, Россия, 190031, тел. +7 (812) 335 69 07, эл. почта av-saidova@yandex.ru² Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВПО «ПГУПС», д. 9, Московский проспект, г. Санкт-Петербург, Россия, 190031, тел. +7 (812) 335 69 07, эл. почта a-orlova@yandex.ru

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВАГОНА НА ТЕЛЕЖКАХ 18-9810 И 18-9855 ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОВ КОЛЕС

Цель. Уточнение параметров износа колес при их моделировании является актуальной задачей в связи с отсутствием соответствующих данных для грузовых вагонов в условиях их эксплуатации на российских железных дорогах. Необходимо создание математических моделей движения вагонов на двухосных трехэлементных тележках 18-9810 и 18-9855 с максимальными осевыми нагрузками 23,5 тс и 25 тс, соответственно, а также выбор факторов, варьированием которых можно идентифицировать параметры модели износа колес. **Методика.** Решение поставленной задачи осуществляется методом математического моделирования в программном комплексе «MEDYNA». Вычисление износа в модели основывается на теории абразивного износа (теория Арчарда). **Результаты.** Уточнение модели износа профилей колес может производиться путем варьирования коэффициента трения между колесом и рельсом для различных зон профиля колеса – гребня и поверхности катания, коэффициента износа в модели Арчарда для сильной и слабой стадии и точки перехода между ними. **Научная новизна.** Разработаны математические модели движения универсального полувагона на тележках 18-9810 и 18-9855. Установлено, что величина неровностей рельсовых нитей оказывает незначительное влияние на износ колес при движении вагонов по круговому пути постоянного радиуса. **Практическая значимость.** Разработанные модели движения полувагона на тележках 18-9810 и 18-9855 могут быть использованы при прогнозировании износов колес, определении показателей ходовых качеств движения, взаимодействия вагонов и путей различного типа, конструкций, состояний и т.п. Результаты исследования влияния некоторых факторов на износ колес грузовых вагонов могут быть использованы лицами, заинтересованными в изучении данного вопроса.

Ключевые слова: тележка; износ колес; моделирование износа; модель изнашивания; коэффициент трения; коэффициент износа

Введение

Целью работы является уточнение параметров износа при моделировании железных дорог колеи 1520 мм. Для этого на данном этапе проводилась разработка математических моделей движения вагонов на двухосных трехэлементных тележках 18-9810 и 18-9855 с учетом износа профилей колес, а также выбор факторов, варьированием которых можно идентифицировать параметры в модели износа профилей колес.

Рассматриваемые тележки 18-9810 и 18-9855 предназначены для установки под грузовые вагоны с осевой нагрузкой 23,5 тс и 25 тс, соответственно, и конструктивной скоростью 120 км/ч. Тележки разработаны ОАО «НВЦ «Вагоны» на основе технического проекта компании Stan-

dard Car Truck (корпорация Wabtec, США) для Тихвинского вагоностроительного завода [7].

Основные отличия тележки модели 18-9855 от 18-9810 заключаются в конструкции наддрессорной балки с увеличенным по требованиям нормативных документов диаметром и глубиной подпятника, применении триангеля с безрезьбовым креплением башмака, колесных пар с S-образной формой диска. Остальные детали – боковые рамы, пружины подвешивания, детали фрикционного гасителя колебаний, боковые скользуны постоянного контакта – унифицированы для двух тележек.

1. Математические модели вагона

Математические модели вагона представленных тележке должны отражать важные свойства работы узлов. Для этого разработаны

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

две расчетные схемы вагона, содержащие 23 твердых тела (кузов, две надрессорные балки, четыре боковые рамы, четыре колесные пары, четыре участка пути и восемь участков рельсов).

Моделирование проводилось в программном комплексе «MEDYNA» [5, 6]. Для тел задавались массово-инерционные характеристики и степени свободы в пространстве. Взаимодействие тел друг с другом описывалось специальными элементами связи.

Так, модель боковых скользунов постоянно контакта учитывала работу сил сухого трения на их опорных поверхностях, работу упругого элемента и ограничение хода при опоре колпака на корпус за счет полного прогиба упругого элемента. Механическая схема элемента представлена на рис. 1.

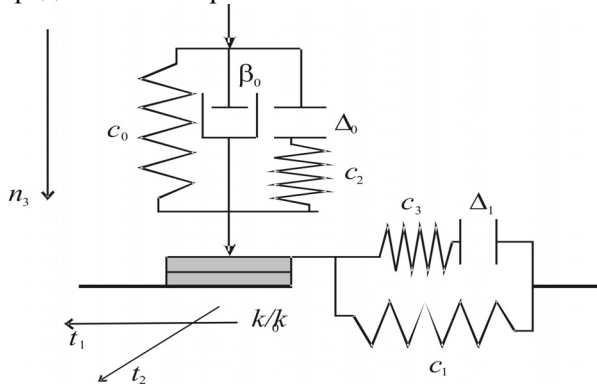


Рис. 1. Механическая схема элемента № 298, описывающего работу сил сухого трения, переменное прижатие и наличие ограничителя хода

Параметры схемы задаются в следующей последовательности:

- C_0 – жесткость поджимающей пружины;
- C_1 – жесткость на сдвиг;
- k – коэффициент трения до замыкания зазора Δ_0 ;
- t_1 и t_2 – вектор действия силы трения;
- n_3 – вектор действия силы прижатия;
- Δ_0 – зазор в направлении действия силы прижатия;
- C_2 – жесткость поджимающей пружины после замыкания зазора Δ_0 ;
- k_0 – коэффициент трения после замыкания зазора Δ_0 ;
- β_0 – коэффициент вязкого трения;
- Δ_1 – зазор в направлении действия силы трения;

- C_3 – жесткость на сдвиг после замыкания зазора Δ_1 .

При моделировании взаимодействия пятника с подпятником использовался набор элементов, показанный на рис. 2:

- сферический шарнир (элемент № 13), допускающий линейное перемещение в вертикальном направлении и угловые перемещения вокруг трех осей;
- упругий элемент (элемент № 61), реализующий эквивалентную жесткость при галопировании тележки под вагоном;
- нелинейные элементы (элемент № 298), реализующие работу сил сухого трения в горизонтальной плоскости и сопротивление при перевалке кузова.

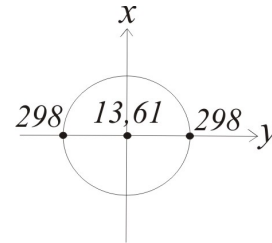


Рис. 2. Расположение элементов при моделировании работы узла «пятник-подпятник»

Элементы № 13 и 61 расположены в центре пятника. Жесткость на галопирование определялась по формуле:

$$c_\varphi = \frac{P \cdot (R - h \cdot \sin \varphi)}{\varphi}, \quad (1)$$

где P – нагрузка, действующая на подпятник;
 R – радиус пятника;
 h – высота центра масс кузова над уровнем подпятника;
 φ – угол галопирования тележки.

Возможный угол галопирования тележки под кузовом вагона оценивался, исходя из максимальной глубины вертикальной неровности:

$$\varphi \approx \frac{h_6}{2l}, \quad (2)$$

где h_6 – глубина вертикальной неровности;
 $2l$ – база тележки.

Работа сил сухого трения при повороте тележки в плане описывалась двумя элементами № 298, разнесенными на величину y_0 от центра пятника. Особенностью элемента № 298

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

является задаваемая жесткость поджимающей элемент сухого трения пружины C_0 , которая обеспечивает возвращающую силу при перевалке вагона на пятнике. Для обеспечения жесткости, эквивалентной действию гравитационной возвращающей силы при перевалке, расстояние y_0 выбиралось по формуле:

$$y_0 = \sqrt{\frac{P \cdot (R - h \cdot \sin \theta)}{2 \cdot C_0 \cdot \theta}}, \quad (3)$$

где C_0 – заданная жесткость поджимающей пружины;

θ – угол перевалки, определяемый по формуле:

$$\theta = \frac{\Delta_{ск}}{b}, \quad (4)$$

где $\Delta_{ск}$ – величина динамического хода скользуна;

$2b$ – расстояние между продольными осями боковых скользунов.

Чтобы момент трения в связи «пятник-подпятник» в модели соответствовал работе этого узла в плоскости, в элементах № 298 задавалась соответствующая величина приведенного коэффициента трения \tilde{k} :

$$\tilde{k} = \frac{2}{3} \cdot k \cdot \frac{R}{y_0}, \quad (5)$$

где k – фактический коэффициент трения на поверхности пятника.

Колесные пары и боковые рамы связаны между собой элементами, реализующими сухое трение в горизонтальной плоскости и горизонтальные перемещения в пределах зазоров в буксовых узлах тележек.

При описании связи колес с рельсами использовалась нелинейная модель контакта колеса и рельса, допускающая двухточечный контакт профилей.

Связь между приведенным участком пути и отсчетной системой координат, а также между подошвой рельса и элементом пути, смоделирована упруго-демпфирующими элементами.

Вычисление износа в модели основывается на теории абразивного износа (теория Арчарда, [10]). Масса изношенного материала пропорциональна работе сил трения, причем различаются фазы слабого и сильного износа, для каждой из которых устанавливается свой коэф-

фициент пропорциональности:

$$I = k_v \cdot A, \quad (6)$$

где k_v – коэффициент износа (лежит в пределах от 10^{-4} мг/Нм до 10^{-2} мг/Нм, [8]);

A – работа сил трения в контакте.

Переход от сильного износа к слабому учитывается путем задания определенного значения отношения мощности сил трения в пятне контакта к его площади.

2. Исследование влияния некоторых факторов на износ

На износ оказывает влияние большое количество факторов, зависящих от параметров пути, ходовых частей, условий контактирования колеса и рельса, [4]. При поиске сходимости результатов моделирования и эксперимента в каждом конкретном случае некоторые факторы остаются неизменными, а другие подлежат варьированию.

Для случая пробега вагонов на тележках моделей 18-9810 и 18-9855 по экспериментальному кольцу ВНИИЖТ в г. Щербинка [2, 3] к постоянным факторам можно отнести:

- параметры пути (радиус кривой, ширина колеи, возвышение наружного рельса, профиль и состояние рельсов и т.п.);
- параметры ходовых частей и вагона в целом (режим движения, скорость, осевая нагрузка, параметры конструкции, первоначальное состояние и геометрические параметры профиля колес, качество металла колес и т.п.).

Обзор работ в области моделирования износа колес показал необходимость исследования влияния величины неровностей пути на него, а также задание коэффициента трения в контакте в виде отдельных значений для зон поверхности катания и гребня колеса.

Для этого были проведены три варианта расчетов износа колес вагона на тележках 18-9855, движущегося по круговому участку пути радиусом 956 м (имитация испытательного кольца ВНИИЖТ, г. Щербинка) с неровностями согласно РД 32.68 [9] – в первом случае, с увеличенными в 1,5 раза неровностями – во втором и уменьшенными в 2 раза – в третьем. Изменение величины неровностей в модели задавалось соответствующим масштабирую-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

щим коэффициентом. Профили колес, полученные после пробега 24 тыс. км, в сравнении с новым неизношенным профилем по ГОСТ 10791 [1] показаны на рис. 3.

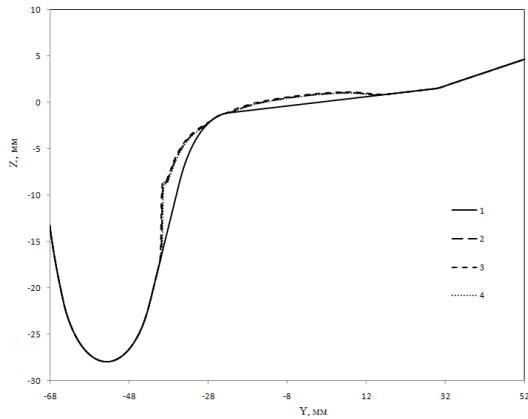


Рис. 3. Профили колес при различных величинах неровностей пути: 1 – неизношенный профиль; 2 – профиль при неровностях по РД 32.68; 3 – профиль при увеличенных неровностях; 4 – профиль при уменьшенных неровностях

Анализ результатов расчета показывает, что полученные профили колес для всех трех случаев отличаются между собой не более чем на 5 %, что позволяет сделать вывод о незначительности влияния величины неровностей на износ при движении вагона по круговому пути т.е. отсутствует необходимость учета точной величины неровностей пути.

Исследование влияния различного коэффициента трения между колесом и рельсом для различных зон профиля колеса проводилось для вагона, движущегося по пути, аналогичному описанному выше, с неровностями по РД 32.68. Полученные профили колес показаны на рис. 4.

Результаты показывают, что увеличение коэффициента трения на гребне колеса приводит к снижению износа на поверхности катания.

Таким образом, точная модель износа профилей колес может быть получена путем уточнения следующих параметров:

- коэффициента трения между колесом и рельсом для различных зон профиля колеса – гребня и поверхности катания (принимается усредненным для различных погодных условий, наблюдаемых при испытаниях);
- коэффициента износа в модели Арчарда

для сильной и слабой стадии;

- точки перехода от сильного износа к слабому.

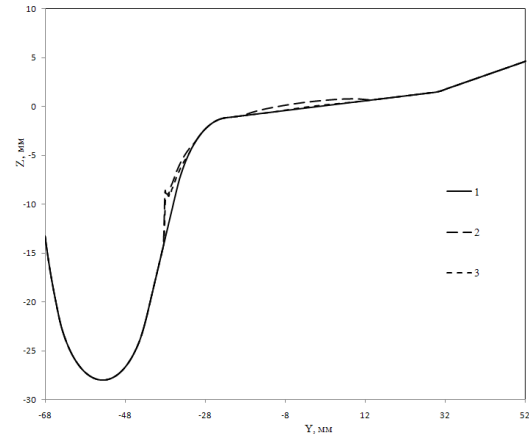


Рис. 4. Профили колес при различных коэффициентах трения между колесом и рельсом: 1 – неизношенный профиль; 2 – профиль при коэффициенте трения 0,25; 3 – профиль при коэффициенте трения 0,3 на гребне и 0,25 на поверхности катания

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 10791-2011. Колеса цельнокатанные. Технические условия. – Введ. 2012–01–01. – М. : Стандартинформ, 2011. – 28 с.
2. Двухосная трехэлементная тележка для грузовых вагонов колеи 1520 мм с осевой нагрузкой 23,5 тс модели 18-9810 : протокол ресурсных пробеговых испытаний (заключит.) / ОАО «НВЦ «Вагоны» ; рук. Ю. П. Бороненко ; исполн. : Лесничий В. С., Сухих И. В., Юрьева Е. И., Карпушина Е. В. – СПб., 2010. – 62 с. – Библиогр.: С. 30.
3. Двухосная трехэлементная тележка для грузовых вагонов колеи 1520 мм с осевой нагрузкой 25 тс модели 18-9855 : протокол ресурсных пробеговых испытаний (заключит.) / ОАО «НВЦ «Вагоны» ; рук. Ю. П. Бороненко; исполн. : Лесничий В. С., Сухих И. В., Юрьева Е. И., Карпушина Е. В. – СПб., 2011. – 58 с. – Библиогр.: С. 29.
4. Захаров, С. М. Математическое моделирование влияния параметров пути и подвижного состава на процессы изнашивания колеса и рельса / С. М. Захаров, Ю. С. Ромен // Вестн. ВНИИЖТ. – Вып. 2. – 2010. – С. 26–30.
5. Лесничий, В. С. Компьютерное моделирование задач динамики железнодорожного подвижного состава. Ч. 1. Основы моделирования в про-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- граммном комплексе MEDYNA : учебное пособие / В. С. Лесничий, А. М. Орлова. – СПб : ПГУПС, 2001. – 34 с.
6. Лесничий, В. С. Компьютерное моделирование задач динамики железнодорожного подвижного состава. Ч. 3. Моделирование динамики грузовых вагонов в программном комплексе MEDYNA : учебное пособие / В. С. Лесничий, А. М. Орлова. – СПб. : ПГУПС, 2002. – 35 с.
 7. Орлова, А. М. Конструктивные особенности тележек моделей 18-9810 и 18-9855 / А. М. Орлова, Е. А. Щербаков // Вагонный парк. – 2011. – № 6. – С. 48–50.
 8. Погорелов, Д. Ю. Универсальный механизм 7.0. Износ профилей колес и рельсов. Руководство пользователя [Электронный ресурс] / Д. Ю. Погорелов. – 2012. – С. 7–8. – Режим доступа: http://www.universalmecanism.com/download/70/rus/16_um_wheel_wear.pdf. – Загл. с экрана.
 9. РД 32.68-96. Руководящий документ. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов. – Введ. 1997–01–01. – М. : ВНИИЖТ, 1996. – 17с.
 10. Archard, J. F. Contact and rubbing of flat surfaces / J. F. Archard // Journal of Applied Physics. – 1953. – Vol. 24, № 8. – P. 981–988.

А. В. САЇДОВА^{1*}, А. М. ОРЛОВА²

^{1*} Каф. «Вагони та вагонне господарство», ФДБОУ ВПО «ПДУШС», буд. 9, Московський проспект, м. Санкт-Петербург, Росія, 190031, тел. +7 (812) 335 69 07, ел. пошта av-saidova@yandex.ru

² Каф. «Вагони та вагонне господарство», ФДБОУ ВПО «ПДУШС», буд. 9, Московський проспект, м. Санкт-Петербург, Росія, 190031, тел. +7 (812) 335 69 07, ел. пошта a-orlova@yandex.ru

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВАГОНІВ НА ВІЗКАХ 18-9810 І 18-9855 ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСУ КОЛІС

Мета. Уточнення параметрів зносу коліс при їх моделюванні є актуальним завданням у зв'язку з відсутністю відповідних даних для вантажних вагонів в умовах їх експлуатації на російських залізницях. Необхідне створення математичних моделей руху вагонів на двовісних трьохелементних візках 18-9810 і 18-9855 з максимальними осьовими навантаженнями 23,5 тс і 25 тс, відповідно, а також вибір факторів, варіюванням яких можна ідентифікувати параметри в моделі зносу коліс. **Методика.** Рішення даного завдання здійснюється методом математичного моделювання в програмному комплексі «MEDYNA». Обчислення зносу в моделі ґрунтується на теорії абразивного зносу (теорія Арчарда). **Результати.** Уточнення моделі зносу профілів коліс може вироблятися шляхом варіювання коефіцієнта тертя між колесом і рейкою для різних зон профілю колеса - гребеня і поверхні катання, коефіцієнта зносу в моделі Арчарда для сильної і слабкої стадії і точки переходу між ними. **Наукова новизна.** Розроблено математичні моделі руху універсального піввагона на візках 18-9810 і 18-9855. Встановлено, що величина нерівностей рейкових ниток робить незначний вплив на знос коліс при русі вагонів по круговому шляху постійного радіуса. **Практична значимість.** Розроблені моделі руху піввагона на візках 18-9810 і 18-9855 можуть бути використані при прогнозуванні зносів коліс, визначенні показників ходових якостей руху, взаємодії вагонів і шляхів різних типів, конструкцій, станів і т.п. Результати дослідження впливу деяких чинників на знос коліс вантажних вагонів можуть бути використані особами, зацікавленими в вивченні даного питання.

Ключові слова: візок; знос коліс; моделювання зносу; модель зношування; коефіцієнт тертя; коефіцієнт зносу

А. В. SAIDOVA^{1*}, А. М. ORLOVA²

^{1*} Dep. «Railcars and Railcars' Maintenance», FGBOU VPO Saint-Petersburg State Railway Transport University, bld.9, Moskovskiy Av., Saint-Petersburg, Russia, 190031, tel. +7 (812) 335 69 07, e-mail av-saidova@yandex.ru

² Dep. «Railcars and Railcars' Maintenance», FGBOU VPO Saint-Petersburg State Railway Transport University, bld.9, Moskovskiy Av., Saint-Petersburg, Russia, 190031, tel. +7 (812) 335 69 07, e-mail a-orlova@yandex.ru

DEVELOPMENT OF DYNAMIC MODELS OF WAGONS ON MODELS 18-9810 AND 18-9855 BOGIES TAKING INTO ACCOUNT WHEEL WEAR RESEARCH

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Purpose. Wear parameters clarification in wear simulation is an actual goal because of absence of corresponding data for freight cars in condition of using them on Russian railways. Research is devoted to development of dynamic models of wagons on three-peace two-axle models 18-9810 and 18-9855 bogies with maximum axle-loads 23,5 ts and 25 ts, and to choice of factors, with varying which parameters in the model of wheel wear can be identified. **Methodology.** The problem is solved by method of mathematic simulation in «MEDYNA» software. Wear calculation is based on abrasive wear theory (Archard's theory). **Findings.** Clarification of wheels' wear model may be done with varying of friction coefficient between wheel and rail for different wheel profile areas (flange and tread), wear coefficient in Archard's model for mild and heavy wear and transition between them. **Originality.** Dynamic models of universal gondola on models 18-9810 and 18-9855 bogies are developed. It is established, that rail treads irregularities size effect wheel wear insignificantly, when car is running on circle track of constant radius. **Practical value.** Developed dynamic models of wagons on models 18-9810 and 18-9855 bogies may be used in wear simulation, determination of car running characteristics, interaction of car and rail of different type, construction, condition and etc. Research results of some factors influence on freight car wheel wear may be interesting for people, who study this problem.

Keywords: bogie; wheel wear; wear modelling; wear model; friction factor; wear factor

REFERENCES

1. GOST 10791-2011. *Kolesa tselnokatannyye. Tekhnicheskiye usloviya* [State Standard 10791-2011. All-rolled wheels. Technical specification]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 28 p.
2. Boronenko Yu.P., Lesnichiy V.S., Sukhikh I.V., Yuryeva Ye.I., Karpushina E.V. *Dvukhosnaya trekhelementnaya teleshka dlya gruzovykh vagonov kolei 1520 mm s osevoy nagruzkoy 23,5 ts modeli 18-9810* [Model 18-9810 two-axle three peace bogie for freight cars of 1520 mm track gauge with an axle load of 23,5 tons]. Saint-Petersburg, 2010. 62 p.
3. Boronenko Yu.P., Lesnichiy V.S., Sukhikh I.V., Yuryeva Ye.I., Karpushina Ye.V. *Dvukhosnaya trekhelementnaya teleshka dlya gruzovykh vagonov kolei 1520 mm s osevoy nagruzkoy 25 ts modeli 18-9855* [Model 18-9855 two-axle three peace bogie for freight cars of 1520 mm track gauge with an axle load of 25 tons: protocol of running tests]. Saint-Petersburg, 2011. 58 p.
4. Zakharov S.M., Romen Yu.S. Matematicheskoye modelirovaniye vliyaniya parametrov puti i podvizhnogo sostava na protsessy iznashivaniya kolesa i relsa [Mathematical modeling of parameters of the track and rolling stock influence on processes of wheel and rail wear] *Vestnik VNIIZHT – VNIIZHT Bulletin* (Bulletin of the Railway Research Institute), 2010, no. 2, pp. 26-30.
5. Lesnichiy V.S., Orlova A.M. *Kompyuternoye modelirovaniye zadach dinamiki zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Chast 1: Osnovy modelirovaniya v programmnom komplekse Medyna* [Computer modeling of dynamic problems in railway rolling stock, Part 1: Modeling bases in MEDYNA]. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State Railway Transport University Publ., 2001. 34 p.
6. Lesnichiy V.S., Orlova A.M. *Kompyuternoye modelirovaniye zadach dinamiki zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Chast 3: Modelirovaniye dinamiki gruzovykh vagonov v programmnom komplekse Medyna* [Computer modeling of dynamic problems in railway rolling stock, Part 3: Modeling dynamics of freight wagons in MEDYNA]. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State Railway Transport University Publ., 2002. 35 p.
7. Orlova A.M., Shcherbakov Ye.A. *Konstruktivnyye osobennosti teleshok 18-9810 i 18-9855* [Design features of models 18-9810 and 18-9855 bogies]. *Vagonnyy park – Vagon Fleet*, 2011, no. 6, pp. 48-50.
8. Pogorelov D.Yu. *Universalnyy mekhanizm 7.0. Iznos profilei koles i relsov*. (Universal mechanism 7.0. Railway Wheel and Rail Profile Wear Prediction Module), 2012, pp. 7-8. Available at: http://www.universalmechanism.com/download/70/rus/16_um_wheel_wear.pdf (Accessed 01 September 2012).
9. RD 32.68-96. *Rukovodnyashchiy dokument. Raschetnyye nerovnosti zheleznodorozhnogo puti dlya ispolzovaniya pri issledovaniyakh i proektirovanii passazhirskikh i gruzovykh vagonov* [Guideline document 32.68-96. Design irregularities of railway track for using in freight and passenger cars simulation]. Moscow, VNIIZHT Publ., 1996. 17 p.
10. Archard J.F. Contact and rubbing of flat surfaces. *Journal of Applied Physics*, 1953, vol. 24, no. 8, pp. 981-988.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Л. А. Манашиным (США); д.т.н., проф. В. Л. Горбцом (Украина)

Поступила в редколлегию 18.12.2013

Принята к печати 08.04.2013

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 625.144.3:519.87

С. А. УСТЕНКО¹, С. В. ДІДАНОВ^{2*}

^{2*}Каф. «Інженерна графіка», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, пр. Героїв Сталінграда, 9, 54025, Миколаїв, Україна, тел. +38 (051) 270 91 00, ел. пошта sv@didanov.com

МЕТОД ПОБУДОВИ ПРОСТОРОВОЇ ПЕРЕХІДНОЇ КРИВОЇ

Мета. Рух залізничного транспорту (швидкість рухомих складів, безпека руху і т.д.) в значній мірі залежить від якості залізничного полотна, при цьому особливе місце займає перехідна крива, вставкою якої забезпечується плавність переходу від прямолінійної до кругової ділянки шляху. У статті розглядається моделювання просторової перехідної кривої на основі параболічних законів розподілу кривизни та кручення. Робота є продовженням досліджень, що проводяться авторами відносно моделювання просторових криволінійних обводів. **Методика.** Побудова просторової перехідної кривої здійснюється чисельним методом розв'язання системи нелінійних інтегральних рівнянь, де в якості вихідних даних взяті координати початкової та кінцевої точок майбутньої кривої, кути нахилу дотичних і відхилення кривої від дотичної площини в цих точках. Для вирішення системи чисельним методом знаходяться приватні похідні рівнянь системи з невідомих параметрів закону зміни кручення і довжини перехідної кривої. **Результати.** Визначені параметричні рівняння просторової перехідної кривої шляхом знаходження невідомих коефіцієнтів параболічних розподілів кривизни та кручення, а також довжини просторової перехідної кривої. **Наукова новизна.** Розроблено метод побудови просторової перехідної кривої, а на його основі – програмне забезпечення геометричного моделювання просторових перехідних кривих залізничної колії із заданими відхиленнями кривої від дотичної площини. **Практична значимість.** Отримана крива може застосовуватися в будь-якій галузі народного господарства, де необхідно забезпечити плавність переходу від прямолінійної до кругової ділянки просторового криволінійного обводу. Прикладом може служити перехідна крива при побудові залізничної колії, автомобільної дороги, трубопроводу, профілю плоского перерізу робочої лопатки турбіни і компресора, корпусу корабля, літака, автомобіля і т.д.

Ключові слова: моделювання; просторова перехідна крива; параболічний розподіл кривизни та скруту; залізнична колія; безпека руху

Постановка проблеми

Однією з найважливіших галузей народного господарства України є залізничний транспорт, який забезпечує перевезення в виробничій та побутовій сферах, а також супровідні їм потреби в усіх видах перевезень.

Рух залізничного транспорту (швидкість потягів, безпека тощо) в значній мірі залежить від якості залізничної колії. При цьому особливе місце займає перехідна крива, вставкою якої забезпечується плавність переходу від прямолінійної ділянки шляху до кругової. В даній роботі пропонується метод геометричного моделювання просторової перехідної кривої ділянки залізничного шляху при відомих точках закінчення прямолінійної ділянки та початку кругової ділянки заданого радіуса, а також кутах нахилу дотичних кривих і відомому відхиленні кривої від дотичної площини в цих точках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанню моделювання перехідних кривих залізничного шляху приділено достатньо уваги. Різні аспекти цього питання висвітлені в наукових роботах [1-5, 8]. Робота, яка пропонується, є продовженням досліджень, присвячених даній тематиці.

Формулювання цілей та завдання статті

Метою статті є подальший розвиток геометричного моделювання перехідних кривих на основі заданого розподілу кривизни та скруту. Робота є продовженням досліджень, що проводяться авторами з геометричного моделювання перехідних кривих залізничного шляху, зокрема, роботи [6].

Основна частина

При з'єднанні прямолінійної та кругової ділянок у просторі потрібно забезпечити плав-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ність перехідної кривої, а також рівність кутів нахилу дотичної (φ_1 і φ_2), відхилення кривої від дотичної площини (ψ_1 і ψ_2) та кривини (0 і $1/R$) на її кінцях (рис. 1). Для цього пропонуємо криву, яка генерується за умови, що задано параболічні графіки розподілу кривини K та скруту X :

$$K(s) = a_1 s^2 + b_1 s + c_1;$$

$$X(s) = a_2 s^2 + b_2 s + c_2,$$

де $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ – невідомі параметри розподілів кривини та скруту, що знаходяться в процесі моделювання кривої; s – параметр кривої лінії, що є її довжиною.

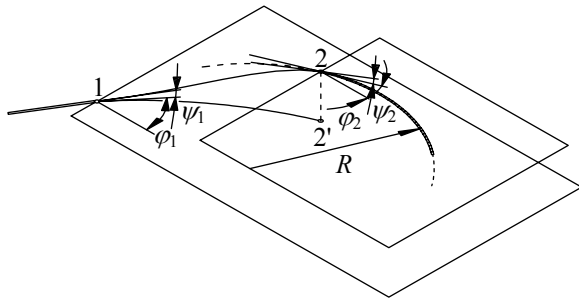


Рис. 1. Просторова перехідна крива

Оскільки перехідна крива з'єднує прямолінійну та кругову ділянки, то в початковій точці 1 її кривина повинна дорівнювати нулю, а в кінцевій точці 2 – $\frac{1}{R}$. З урахуванням обмеження щодо кутів нахилу дотичної та відхилення кривої від дотичної площини в початковій та кінцевій точках перехідної кривої та згідно роботи [5], маємо такі формули для обчислення деяких невідомих параметрів:

$$a_1 = \frac{3}{S^2} \left(\frac{1}{R} - 2 \frac{\Delta\varphi}{S} \right); \quad b_1 = \frac{2}{S} \left(3 \frac{\Delta\varphi}{S} - \frac{1}{R} \right);$$

$$c_1 = 0; \quad c_2 = \frac{\Delta\psi}{S} - S \left(\frac{a_2 S}{3} + \frac{b_2}{2} \right).$$

Формули для обчислення кутів нахилу дотичної та відхилення кривої від дотичної площини знаходяться шляхом інтегрування рівнянь кривини та скруту (з урахуванням формул для обчислення їх параметрів):

$$\varphi(s) = \varphi_1 + \frac{s^2}{S^2} \left[\frac{1}{R} (s - S) - \frac{\Delta\varphi}{S} (2s - 3S) \right];$$

$$\psi(s) = \psi_1 + s \left\{ \frac{\Delta\psi}{S} + (s - S) \left[\frac{a_2}{3} (s + S) + \frac{b_2}{2} \right] \right\},$$

де $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$, $\Delta\psi = \psi_2 - \psi_1$, де S – довжина дуги кривої від точки 1 до точки 2.

Взявши інтеграли від кутів отримаємо параметричні рівняння просторової перехідної кривої [7]:

$$x(s) = x(0) + \int_0^s \cos \psi(s) \cos \varphi(s) ds;$$

$$y(s) = y(0) + \int_0^s \cos \psi(s) \sin \varphi(s) ds;$$

$$z(s) = z(0) + \int_0^s \sin \psi(s) ds.$$

Для знаходження невідомих a_2, b_2 і S підставимо до отриманих рівнянь координати початкової та кінцевої точок:

$$x_2 = x_1 + \int_0^S \cos \psi(s) \cos \varphi(s) ds;$$

$$y_2 = y_1 + \int_0^S \cos \psi(s) \sin \varphi(s) ds;$$

$$z_2 = z_1 + \int_0^S \sin \psi(s) ds.$$

Розв'яжемо систему інтегральних рівнянь числовим методом, для чого знайдемо частинні похідні рівнянь по невідомим параметрам [6]:

$$\frac{\partial F_1}{\partial a_2} = -\frac{1}{3} \int_0^S s(s^2 - S^2) \sin \psi(s) \cos \varphi(s) ds;$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial b_2} = -\frac{1}{2} \int_0^S s(s - S) \sin \psi(s) \cos \varphi(s) ds;$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial S} = \frac{1}{S} \int_0^S \cos \psi(s) \cos \varphi(s) ds -$$

$$-\frac{1}{S} \int_0^S s(s - S) \alpha(s) \sin \psi(s) \cos \varphi(s) ds -$$

$$-\frac{1}{RS^3} \int_0^S s^2 (s - S) \cos \psi(s) \sin \varphi(s) ds;$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial a_2} = -\frac{1}{3} \int_0^S s(s^2 - S^2) \sin \psi(s) \sin \varphi(s) ds;$$

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$\begin{aligned}\frac{\partial F_2}{\partial b_2} &= -\frac{1}{2} \int_0^S s(s-S) \sin \psi(s) \sin \varphi(s) ds ; \\ \frac{\partial F_2}{\partial S} &= \frac{1}{S} \int_0^S \cos \psi(s) \sin \varphi(s) ds - \\ &\quad - \frac{1}{S} \int_0^S s(s-S) \alpha(s) \sin \psi(s) \sin \varphi(s) ds + \\ &\quad + \frac{1}{RS^3} \int_0^S s^2(s-S) \cos \psi(s) \cos \varphi(s) ds ; \\ \frac{\partial F_3}{\partial a_2} &= \frac{1}{3} \int_0^S s(s^2 - S^2) \cos \psi(s) ds ; \\ \frac{\partial F_3}{\partial b_2} &= \frac{1}{2} \int_0^S s(s-S) \cos \psi(s) ds ; \\ \frac{\partial F_3}{\partial S} &= \frac{1}{S} \int_0^S \sin \psi(s) ds - \\ &\quad - \frac{1}{S} \int_0^S s(s-S) \alpha(s) \cos \psi(s) ds,\end{aligned}$$

де $\alpha(s) = a_2(s+S) + b_2$.

Для застосування числового методу, потрібно взяти початкові значення невідомих параметрів. Для довжини S за початкове значення можна взяти відстань між точками 1 і 2, а для коефіцієнтів a_2 і b_2 – довільні значення.

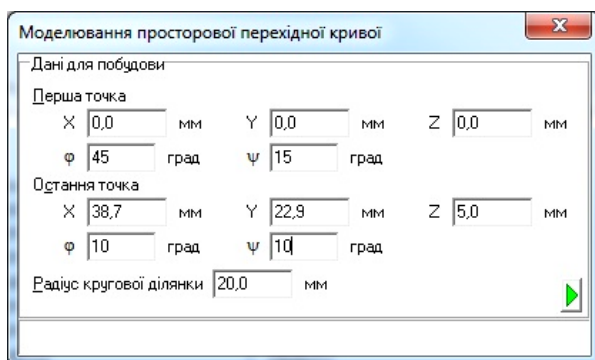


Рис. 2. Основне вікно програми

На основі запропонованого методу розроблено програму моделювання просторових перехідних ліній ділянок залізничного шляху мовою об'єктно-орієнтованого програмування Object Pascal. На рис. 2 показано основне вікно розробленої програми. Відмінність цієї програ-

ми від програми, наведеної в роботі [6], полягає у можливості введення кутів відхилення кривої від дотичної площини в початковій та кінцевій точках.

На рис. 3 наведено приклад геометричного моделювання перехідних кривих у просторі за допомогою розробленої програми. Криві, показані на рисунку, змодельовані при різних значеннях ординати останньої точки.

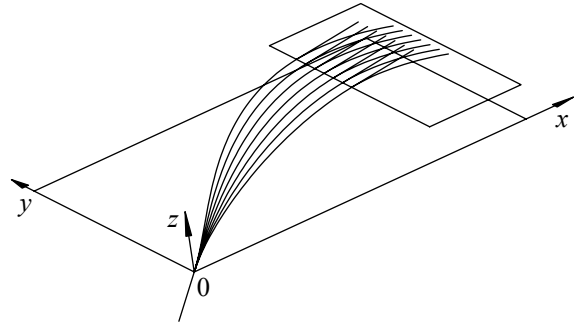


Рис. 3. Результати моделювання просторових перехідних кривих

Висновки

Таким чином, отримано метод моделювання просторової перехідної кривої. На основі цього методу розроблено програму геометричного моделювання просторових перехідних кривих ділянок залізничного шляху з заданими відхиленнями кривої від дотичної площини.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Амелин, С. В. Путь и путевое хозяйство / С. В. Амелин, Л. М. Дановский. – М. : Транспорт, 1986. – 215 с.
2. Ельфимов, Г. В. Теория переходных кривых / Г. В. Ельфимов. – М. : Трансжелдориздат, 1948. – 311 с.
3. Лагута, В. В. Удосконалення проектування кривих залізничної колії в плані : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.06 / Лагута Василь Васильович ; "Залізнична колія". – Д., 2002. – 18 с.
4. Финицкий, С. И. Путь и путевое хозяйство железных дорог США / С. И. Финицкий. – М. : Транспорт, 1987. – 215 с.
5. Русу, С. П. Математическая модель пути пространственной конфигурации при различных режимах движения транспортных экипажей / С. П. Русу, В. В. Кравец // Транспорт. Математичне моделювання в інженерних та економічних задачах транспорту : зб. наук. праць / Дніп-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- ропетр. державний техн. ун-т залізн. трансп. – Д., 1999. – С. 114–119.
6. Устенко, С. А. Геометричне моделювання переходної кривої у просторі / С. А. Устенко, С. В. Діданов // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К. : КНУБА, 2012. – Вип. 89. – С. 368–372.
 7. Устенко, С. А. Геометричне моделювання просторових кривих ліній заданих кривини та скруту / С. А. Устенко // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Х. : ХДУХТ, 2011. – Вип. 29. – С. 86–90.
 8. Zhaia, W. M. Lateral interactions of trains and tracks on small-radius curves / W. M. Zhaia, K. Y. Wanga // Vehicle System Dynamics. – 2006. – Vol. 44, Supplement. – P. 520–530.

С. А. УСТЕНКО¹, С. В. ДИДАНОВ^{2*}

^{2*}Каф. «Инженерная графика», Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев, Проспект Героев Сталинграда, 9, 54025, Николаев, Украина, тел. +38 (051) 270 91 00, эл. почта sv@didanov.com

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПЕРЕХОДНОЙ КРИВОЙ

Цель. Движение железнодорожного транспорта (скорость подвижных составов, безопасность движения и т.д.) в значительной степени зависит от качества железнодорожного полотна. При этом особенное место занимает переходная кривая, вставка которой обеспечивает плавность перехода от прямолинейного к круговому участку пути. В статье рассматривается моделирование пространственной переходной кривой на основе параболических законов распределения кривизны и кручения. Работа является продолжением исследований, проводимых авторами касательно моделирования пространственных криволинейных обводов. **Методика.** Построение пространственной переходной кривой осуществляется численным методом решения системы нелинейных интегральных уравнений, где в качестве исходных данных взяты координаты начальной и конечной точек будущей кривой и углы наклона касательных и отклонения кривой от касательной плоскости в этих точках. Для решения системы численным методом находятся частные производные уравнений системы по неизвестным параметрам закона изменения кручения и длине переходной кривой. **Результаты.** Определяются параметрические уравнения пространственной переходной кривой путем нахождения неизвестных коэффициентов параболических распределений кривизны и кручения, а также длины пространственной переходной кривой. **Научная новизна.** Разработан метод построения пространственной переходной кривой, а на его основе – программное обеспечение геометрического моделирования пространственных переходных кривых железнодорожного пути с заданными отклонениями кривой от касательной плоскости. **Практическая значимость.** Полученная кривая может применяться в любой отрасли народного хозяйства, где необходимо обеспечить плавность перехода от прямолинейного к круговому участку пространственного криволинейного обвода. Примером может служить переходная кривая при построении железнодорожного пути, автомобильной дороги, трубопровода, профиля плоского сечения рабочей лопатки турбины и компрессора, корпуса корабля, самолета, автомобиля и т.д.

Ключевые слова: моделирование; пространственная переходная кривая; параболическое распределение кривизны и вращения; железнодорожный путь; безопасность движения

S. A. USTENKO¹, S. V. DIDANOV^{2*}

^{2*}Dep. «Engineering Graphics», National Shipbuilding University named after Admiral Makarov, Nikolaev, Geroyev Stalingrada Av., 9, 54025, Nikolaev, Ukraine, tel. +38 (051) 270 91 00, e-mail sv@didanov.com

METHOD OF CONSTRUCTION SPATIAL TRANSITION CURVE

Purpose. The movement of rail transport (speed rolling stock, traffic safety, etc.) is largely dependent on the quality of the track. In this case, a special role is the transition curve, which ensures smooth insertion of the transition from linear to circular section of road. The article deals with modeling of spatial transition curve based on the

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

parabolic distribution of the curvature and torsion. This is a continuation of research conducted by the authors regarding the spatial modeling of curved contours. **Methodology.** Construction of the spatial transition curve is numerical methods for solving nonlinear integral equations, where the initial data are taken coordinate the starting and ending points of the curve of the future, and the inclination of the tangent and the deviation of the curve from the tangent plane at these points. System solutions for the numerical method are the partial derivatives of the equations of the unknown parameters of the law of change of torsion and length of the transition curve. **Findings.** The parametric equations of the spatial transition curve are calculated by finding the unknown coefficients of the parabolic distribution of the curvature and torsion, as well as the spatial length of the transition curve. **Originality.** A method for constructing the spatial transition curve is devised, and based on this software geometric modeling spatial transition curves of railway track with specified deviations of the curve from the tangent plane. **Practical value.** The resulting curve can be applied in any sector of the economy, where it is necessary to ensure a smooth transition from linear to circular section of the curved space bypass. An example is the transition curve in the construction of the railway line, road, pipe, profile, flat section of the working blades of the turbine and compressor, the ship, plane, car, etc.

Keywords: modeling; spatial transition curve; parabolic distribution of curvature and torsion; railways; road safety

REFERENCES

1. Amelin S.V., Danovskiy L.M. *Put i putevoye khozyaystvo* [Road and Track Facilities]. Moscow, Transport Publ., 1986. 215 c.
2. Yelfimov G.V. *Teoriya perekhodnykh krivyykh* [Theory of transitional curves]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1948. 311 c.
3. Lahuta V.V. *Udoskonalennia proektuvannia kryvykh zaliznychnoi kolii v plani*. Avtoreferat Diss. [Improvement of railway curves designing in plan. Author's abstract.]. Dnipropetrovsk, 2002, 18 p.
4. Finitskiy S.I. *Put i putevoye khozyaystvo zheleznykh dorog SShA* [Road and Track Facilities of USA Railways]. Moscow, Transport Publ., 1987. 215 c.
5. Rusu S.P., Kravets V.V. Matematicheskaya model puti prostranstvennoy konfiguratsii pri razlichnykh rezhimakh dvizheniya transportnykh ekipazhey [Mathematical model of the spatial configuration of the way at various modes of traffic crews]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu zaliznychnoho transportu "Transport. Matematychni modeliuvannia v inzhenernykh ta ekonomichnykh zadachakh transportu"* [Proc. of the State Technical University of Railway Transport Transportation. Mathematical modeling in engineering and business problems of transport], 1999, pp.114-119.
6. Ustenko S.A., Didanov S.V. Heometrychne modeliuvannia perekhidnoi kryvoi u prostori [Geometric modeling of the ease curve in scope]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika - Applied Geometry and Engineering Graphics*, 2012, issue 89, pp. 368-372.
7. Ustenko S.A. Heometrychne modeliuvannia prostorovykh kryvykh linii zadanykh kryvyny ta skrutu [Geometric modeling of spatial curves given curvature and torsion] *Heometrychne ta kompiuterne modeliuvannia. – Geometric and computer modeling*, 2011, issue 29, pp. 86-90.
8. Zhaia W.M., Wanga K.Y. Lateral interactions of trains and tracks on small-radius curves. *Vehicle System Dynamics*, 2006, vol. 44, pp. 520-530.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Л. А. Манашикіним (США); д.т.н. В. Л. Горобцем (Україна)

Поступила в редколегію 13.02.2013

Прийнята до друку 10.04.2013

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 622.235

В. П. БЕРБУШЕНКО^{1*}, О. В. МАРУЩАК¹

^{1*}Каф. «Військова підготовка Держспецтрансслужби», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, Україна, тел./факс + 38 (056) 379 19 09, ел. пошта berbushenko.vladimir@gmail.com

ПРО ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВИБУХІВ У ҐРУНТАХ ШТУЧНИХ СПОРУД

Мета. Визначити актуальні та перспективні напрямки досліджень руйнувань неоднорідних ґрунтових масивів під дією вибуху, а також особливостей розповсюдження вибухових хвиль через межі відокремлення середовищ в штучних ґрунтах. **Методика.** Для досягнення цілей роботи використані методи вивчення та аналізу опублікованих результатів досліджень про поведінку ґрунтів під час вибуху, підбір методів, що використовувалися при дослідженні вибухів в природних та штучних ґрунтах. **Результати.** Аналіз наукових публікацій на тему поведінки ґрунтів під час вибуху показує, що вивченню підлягала поведінка природних ґрунтів під час вибухів в основному вибухових речовин (ВР) для промислових гірничовибухових робіт. **Наукова новизна.** Вивчення природи поведінки штучних ґрунтів під час вибухів, прогнозування наслідків та розробка технологій їх ліквідації є важливою задачею підрозділів Держспецтрансслужби, актуальною в сучасних умовах існуючих загроз. Методи дослідження, що пропонуються, не є новими, але у відношенні до штучних ґрунтів, вони не застосовувалися під час вибуху. **Практична значимість.** Перелік і обсяги загроз, що існують в сучасності, говорять про необхідність знання наслідків, до яких можуть призвести вибухи у відношенні до основ транспортних об'єктів.

Ключові слова: штучний ґрунт; вибух; середовище вибуху; хвиля стиску; епіцентр вибуху

Вступ

В статті розглядається стан дослідження наслідків вибухів в ґрунтах загалом, а також ставиться питання про необхідність та актуальність дослідження вибухів в ґрунтах основ штучних споруд транспортних об'єктів.

Поведінка ґрунту під час вибуху являється складним процесом, достатньо вивченим сучасною наукою. Перша формула [3] визначення величини заряду вибухової речовини (ВР) була запропонована ще в 1628 році французьким інженером А. Девілем. Через 100 років французький генерал Б. Белідор вперше сформулював основи теорії вибухового руйнування. В 1866 році російський воєнний інженер М. М. Фролов запропонував формулу для визначення величини вирви викидання, яка в 1869 році була уточнена іншим військовим інженером М. М. Боресковим та отримала найменування формули

Борескова. В 1881 році французи П. Є. М. Бертло та П. Віель зробили відкриття вибухової хвилі. Список відкриттів та досліджень можна продовжити і далі. Дослідженню цього питання присвячено багато сучасної вітчизняної та зарубіжної літератури. Найбільш вагомий внесок внесли такі автори як М. М. Ситий, К. П. Станюкович, М. А. Лаврентьєв, М. А. Садовський, М. А. Старіков, Г. К. Акутін, Ф. А. Баум, В. П. Орленко, В. П. Челишев, Б. І. Шехтер, О. О. Вовк, І. А. Лучко, В. Г. Кравець, В. А. Плаксіє, Р. Густафсон (Швеція), М. А. Кук (США), К. Юхансон (Швеція) та інші. Розглянуті в їх роботах дослідження стосувалися ґрунтів в їх природному стані. Зараз в основному досліджуються теоретичні питання вибуху нових промислових сумішей (НПС) вибухових речовин. Разом із тим поведінка ґрунту в штучно ущільненому становищі (основи всіх

споруд, насипи транспортних споруд) під час вибуху і особливо після відновлення (засипки) вирви не є достатньо дослідженою. Отже, актуальним науковим завданням є виявлення закономірностей зміни напружено-деформованого стану (НДС) штучних споруд в ґрунтах під дією енергії вибуху конверсійних вибухових матеріалів (боєприпаси) для прогнозування характеру та обсягу її впливу на ґрунтове середовище.

Вибух, як відомо [10], являється процесом досить швидкого фізичного або хімічного перетворення системи, який супроводжується переходом її потенційної енергії в механічну роботу. Значна частина даного процесу проходить під одночасним впливом факторів вибуху на екзотермічні перетворення, на об'ємну концентрацію енергії та газоутворення, хвилі стиску, а також хвилі розвантаження (розтягу).

На початку вибуху поблизу заряду на ґрунт впливають в основному фактори, дією яких і зумовлюється руйнування ґрунту як природного, так і основи, що знаходиться в безпосередній близькості до епіцентру вибуху, витіснення ґрунту та утворення вирви. По мірі віддалення від епіцентру вибуху відбувається згасання сили впливу вказаних факторів, і розповсюдження хвиль стиску та розтягу залежить від структури середовища. Оскільки основним об'єктом дослідження є вибух в основах, то середовищем є штучно ущільнений ґрунт із задалегідь заданими проектними властивостями по міцності, щільності та однорідності.

В залежності від умов ініціювання хімічної реакції вибуху, характеристик вибухової речовини, середовища вибуху (в даному випадку, ущільнених ґрунтових основ) та інших факторів, хвилі вибуху можуть розповсюджуватися з різними швидкостями і разом із тим володіти суттєвими якісними відмінностями.

Ущільнені ґрунти основ мають значно більшу щільність та однорідність, ніж природні. Навіть пластичні в природному стані ґрунти після ущільнення в основі мають щільність, що близька до її показника твердого компонента. Здатність до стискання основ невелика і, як наслідок, хвилі стиску розповсюджуються в них із більшими, ніж в природних ґрунтах, швидкостями та слабкіше згасають на деякій відстані від епіцентру вибуху. Крім того, в основах практично відсутня система тріщин, що також впливає на збільшення швидкості розповсю-

дження хвиль стиску та зменшення коефіцієнту їх згасання.

Процеси, що проходять в ґрунті під час вибуху (утворення вирви, руйнування та викидання ґрунту, утворення сейсмічної хвилі), в основному досліджуються в природних ґрунтах та поблизу епіцентру самого вибуху (в радіусі зони викиду та спускування ґрунту); для їх опису застосовується метод Ейлера. Суть цього методу полягає у визначенні в просторі навколо епіцентру вибуху залежності параметрів стану (щільності, тиску, температури або ентропії) і руху (швидкості та зміни координат) від часу для кожної заданої точки, тобто функція залежності координат від часу. Для розгляду процесів в основах і на віддаленні від епіцентру, що більше радіусу вирви, на наш погляд, більш доцільно застосовувати метод Лагранжа, суть якого зводиться до визначення вказаних параметрів кожної фіксованої частинки середовища для будь-якого моменту часу.

Крім вирви (зони, де ґрунт є витісненим вибухом зовні) для вибуху характерні ще дві зони: руйнування структури ґрунту та струсу ґрунту. В зоні руйнування природні ґрунти ущільнюються, та структура їх порушується. Так, при вибухах у пористих ґрунтах в зоні руйнування відбуваються пластичні деформації, в скельових – виділяємо дві зони: роздавлювання, де ґрунт інтенсивно роздрібнений, і зону розриву з розгалуженою системою радіальних та тангенціальних тріщин. В зоні струсу (пружній зоні) хвиля стиску стає слабкішою і не змінює зв'язків між частинками ґрунту та справляє лише з більшою-меншою інтенсивністю струс ґрунту, який згасає по мірі віддалення від епіцентру вибуху. Відповідно, при вибухах в пухких незв'язаних ґрунтах утворюється вирва та ущільнення ґрунту в зоні пластичних деформацій. При вибухах в ґрунтах з жорсткими зв'язками між зернами скелету поблизу структури зовнішньої межі зони пластичних деформацій як в середині, так і поза неї, можуть утворюватися радіальні та тангенціальні тріщини. Однак природа поведінки штучних ґрунтів під час вибуху досліджена недостатньо.

Як відомо, в штучних ґрунтах, тобто пористих ґрунтах природного походження, що є зміцненими і ущільненими під час вибуху в деякій мірі будуть відбуватись пластичні деформації, але значно менші, ніж в природних основах, де виникає процес роздавлювання

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

більш крупних зерен. Штучні ґрунти з обломків скельних ґрунтів, а також твердих відходів виробничої та господарської діяльності людини, скоріш за все, піддадуться роздавлюванню.

Якщо розглянути історію вивчення вибухів в ґрунтах, то найкраще це зроблено в статті А. А. Вовк [1], в якій позначено, що зародження напрямку вивчення проблем промислового використання вибухових технологій різного призначення проходило в рамках науково-прикладної школи академіків М. А. Лаврентьєва та М. А. Садовського. Початок досліджень по використанню наслідків вибуху в природних ґрунтах було покладено в Інституті математики АН УРСР Н. М. Ситим та в Інституті гірничої справи АН УРСР Н. А. Стариковим, Г. К. Акутіним та А. А. Вовком. В 1965 році завершенням формування цього напрямку, було створення лабораторії вибухових деформацій ґрунтів, в якій вперше були висунуті та вироблені основні положення та методологічні підходи. І хоча напрям роботи лабораторії був сформований на основі нової, на той час, концепції, яка більш повно враховувала реальні процеси, що мають місце при розгляді системи «заряд – навколишнє середовище», основою рішення хвильових задач, як і раніше, приймалися фундаментальні положення механіки суцільних дискретних середовищ.

Подальший розвиток уявлень про механізм руйнування ґрунту вибухом [3] пов'язано з розробкою нових способів та засобів реєстрації процесів руйнування, параметрів полів напружень та швидкості розвитку тріщин. Так, в Інституті механіки МДУ С. С. Григоряном була запропонована модель поведінки ґрунту як пружно-пластичного тіла, та були отримані кількісні данні про зміни параметрів вибухових хвиль з віддаллю, а Г. М. Ляховим була розроблена модель 3-компонентного середовища (тверде тіло, пори якого заповнені рідиною та газом) та деякі інші моделі. Проблеми поведінки ґрунтів під дією ударних навантажень розглядалися багатьма вченими, зокрема в роботах [8, 9, 11]. Але їх результати використовувалися виключно для оцінки якісної картини розвитку вибуху в природних ґрунтах, а штучні ґрунти залишалися невивченими.

При формуванні дослідницьких програм головна увага вчених зазначеного напрямку була направлена на удосконалення та подальше підвищення достовірності рішень в пружно-

пластичній постановці за рахунок застосування більш досконалих чисельних методів моделювання вибухових процесів, вибору для цих методів адекватних рівнянь стану. Це було досягнуто за рахунок численних експериментів з використанням унікальних методик і отримання необхідного матеріалу для знаходження констант, що входять в відповідні алгоритми. Були розроблені спеціальні методи прогнозування механічної дії вибуху в різних середовищах для визначення параметрів стану ґрунту природного складу при динамічних навантаженнях. В комплексних дослідженнях [4] ущільненої зони незворотних деформацій навколо епіцентру вибуху в числі інших були задіяні нетрадиційні, для того часу, методи отримання інформації про залишкові явища наслідків вибуху (поля деформацій), серед яких В. Г. Кравцем та Л. І. Демещуком (інститут гідромеханіки НАН України) вперше в практиці таких випробувань були використані радіоактивні та сейсмометричні методи, що дозволило отримати інформацію про мікроструктурні зміни в зоні впливу вибуху в штучних ґрунтах. Разом із тим, всі моделювання вибухових процесів проводилися в відношенні до природних ґрунтів, і відповідно всі інженерні рекомендації та алгоритми розрахунків не мають відношення до штучних ґрунтів.

Якщо розглянути концептуальні положення, що враховувалися вченими зазначеної школи при моделюванні вибухових процесів, то слід зауважити, що система «заряд-середовище» розглядалася в ґрунтах з в'язкими властивостями, що зумовлювало більш інтенсивне затухання хвиль, а інтенсивність затухання хвиль в штучних ґрунтах, які априорі позбавлені в'язкості, не розглядалась зовсім. Теоретично ж можна припустити, що у порівнянні з штучними ґрунтами, утвореними в результаті зміцнення і ущільнення різними методами, пористість ґрунтів природного походження буде значно слабшою, але все ж більшою, ніж у скельних ґрунтах. В штучних ґрунтах, утворених з обломків скельних ґрунтів, а також твердих відходів виробничої та господарської діяльності людини пористість буде меншою, ніж у скельних. А система «джерело імпульсу – об'єкт прикладання», що направлена на управління параметрами вибуху, тобто отримання від вибуху програмних результатів, і відповідно до теми, що пропонується для розгляду даною статтею, відношення не має.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Дослідження, що проводилися вченими цієї школи в напрямку отримання камуфлетних порожнин в м'яких ґрунтах, на перший погляд, не мають відношення до вибухів в штучних ґрунтах. Але експериментально-виробничі дослідження по визначенню полів деформацій навколо епіцентру вибуху, рішення динамічних задач, які описують дію зарядів в двовірній постановці задач, дозволяють використовувати метод теорії функцій комплексних змінних та виконати аналітичні дослідження складних схем вибуху, дають первинний матеріал для вивчення даних процесів в штучних ґрунтах. Рішення, які виконувалися з залученням апарату теорії розмірностей в припущенні, що параметри вирв будуть подібними, з використанням нестискаємої моделі, хоча і не надали інформацію про параметри ущільненої зони, але надали можливість підтвердження про збільшення міцності ґрунту даної зони. А це дуже важливо при подальшій експлуатації основ із штучних ґрунтів після засипання вирви, оскільки ґрунт в даній зоні буде мати жорсткість більшу, ніж проектна до вибуху, і в межових зонах буде піддаватися руйнуванню від динамічних ударів технічних засобів будівництва та експлуатації. Подальші дослідження, що доповнили та скорегували аналітичні рішення, методом моделювання з використанням теорії подібності і розмірностей дали змогу отримати функціональну залежність для основних геометричних параметрів вирви, а отримані кореляційні співвідношення можна використовувати для прогнозування вибуху в однорідних середовищах при відповідних діапазонах потенціалу заряду. Аналогічні дослідження виконані і для випадків вибухів в шаруватих ґрунтах, але також – природних.

Рішення задач по динаміці скельних порід під час вибуху в лабораторії вибухових деформацій ґрунтів виконувалося на базі новітніх, на той час, підходів до трактування механізму деформації твердих тіл, концепції оптимізації передачі енергії ВР масиву ґрунту. В якості реального практичного (для дослідження штучних ґрунтів) результату цих досліджень можна вважати теоретичне обґрунтування формування в силовому полі дотичних напружень, що являється нерозробленим для штучних ґрунтів.

Під час досліджень, що проводилися в лабораторії вибухових деформацій ґрунтів в галузі вибухової сейсміки, на основі унікального екс-

периментального матеріалу вперше були сформульовані деякі положення, що уточнювали картину формування та руху сейсмічних хвиль в різних середовищах, але, між тим, знову не в штучних ґрунтах. Важливим результатом даних робіт для подальшого дослідження природи поведінки штучних ґрунтів під час вибуху, на наш погляд, можна вважати вдосконалення методик визначення розмірів сейсмічного джерела з урахуванням не тільки зони систематичних тріщин, але і випадкових (локальних) зон, які мають вплив на величину початкових параметрів сейсмічних хвиль, відносно до алгоритму, що описує їх рух.

Серед найбільш перспективних, з погляду на розвиток теорії вибуху в штучних ґрунтах, результатів багаторічної роботи вчених науково-прикладної школи академіків М. А. Лаврентьєва та М. А. Садовського можна визначити наступне: встановлені закономірності затухання сейсмовибухової хвилі з віддаленістю від епіцентру вибуху дозволяють на принципово новій основі вести розрахунок значень параметрів сейсмовибухових хвиль; розроблена ними методика визначення розмірів зони незворотніх деформацій стискуваних та скальних ґрунтів, є джерелом дослідження сейсмовибухових хвиль; розроблені ними методи зниження інтенсивності впливу сейсмовибухових хвиль на штучні споруди за допомогою створення поперед них штучних перешкод в вигляді ланцюга, порожнин та інші.

При більш детальному вивченні НДС штучних ґрунтів під час вибухів сучасних боєприпасів на основі роботи [5] можна, на погляд авторів, поставити для розв'язання такі задачі:

- порівняти термодинамічні та енергетичні параметри сучасних бойових боєприпасів і еталонних ВР для промислових гірничовибухових робіт;
- розробити рівняння стану газоподібних продуктів вибуху сучасного унітарного боєприпасу;
- дослідити НДС штучних ґрунтів під час вибухів сучасних боєприпасів;
- дослідити особливості поведінки штучного ґрунту під час вибухів еталонних ВР для промислових гірничовибухових робіт і сучасних боєприпасів;
- систематизувати наслідки вибухів сучасних боєприпасів в штучних ґрунтах для визначення ймовірних обсягів руйнувань.

Об'єктом дослідження при вирішенні зазначених задач будуть процеси деформацій та руйнування штучних ґрунтів під дією вибухів сучасних боєприпасів. Предметом досліджень доцільно обрати параметри вибухів і НДС в штучних ґрунтах під час використання сучасних боєприпасів та систематичність їх дії. При цьому пропонується обрати наступні методи досліджень:

– для розв'язання задач про дію вибухів еталонних ВР для промислових гірничовибухових робіт і сучасних боєприпасів пропонується використати моделі штучного ґрунту у вигляді ущільненого багатокомпонентного в'язко-пластичного середовища і зонну ідеальну модель дії вибуху, а також чисельні методи скінченних різниць (метод сіток) та Рунге–Кутта четвертого порядку точності;

– для розрахунку наслідків вибухів сучасних боєприпасів в штучних ґрунтах з метою визначення ймовірних обсягів їх руйнувань пропонується використати аналітичні розрахункові методи;

– метод найменших квадратів (метод знаходження наближеного розв'язку надлишково-визначеної системи) пропонується застосовувати для встановлення достовірних кореляційних залежностей параметрів НДС штучних ґрунтів від відносної віддаленості та критерію подібності дії вибуху сучасних боєприпасів, а також розмірів зон руйнування штучних ґрунтів від цього критерію подібності та акустичної жорсткості штучних ґрунтів.

Провівши зазначену роботу, можна буде спробувати вирішити важливу наукову проблему про виявлення закономірностей зміни НДС штучних ґрунтів під дією вибухів сучасних боєприпасів з встановленням якісної та кількісної оцінок їхньої відносної ефективності в штучних ґрунтах. Це може мати велике практичне значення під час визначення ймовірних обсягів руйнування основ, тобто штучних ґрунтів, та транспортних об'єктів, як від застосування сучасних боєприпасів, так і під час вибухів, що стали наслідком необережного поводження з ними або у наслідку терористичних актів.

Висновки

Аналіз доступних для вивчення наукових джерел [5, 6, 7, 11 та ін.] показує, що в останні роки в нашій країні вивченню підлягала поведінка природних ґрунтів під час вибухів, в основному ВР для промислових гірничовибухових робіт. Перелік і обсяги загроз, що існують в сучасності, говорить за те, що необхідно знати, які наслідки їх реалізація може мати по відношенню до транспортних об'єктів і до їх основ у випадку використання розроблених нових промислових ВР місцевого приготування. Цим і обумовлена актуальність теоретичного дослідження зміни НДС штучних ґрунтів під час вибухів у них сучасних боєприпасів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вовк, А. А. Становление и развитие в Украине исследований по геодинамике взрыва // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: зб. наук. праць. – К., 2008. – Вип. 17. – С. 9–24.
2. Закономерности деформаций грунтов и горных пород при динамических воздействиях. / А. А. Вовк, З. Барановский, В. Г. Кравец, Б. Кузья. – К.: Институт гидромеханики НАНУ, 1996. – 170 с.
3. Козловский, Е. А. Горная энциклопедия. В 5 т. Т. 5. СССР–Яшма / Е. А. Козловский. – М.: Советская энциклопедия, 1991. – 560 с.
4. Кравец, В. Г. Формирование инженерных свойств грунтов взрывными методами / В. Г. Кравец, Н. С. Грищенко, Л. И. Демешук. – К.: Наук. думка, 1983. – 188 с.
5. Кузьменко, А. О. Оцінка масштабності аварійного вибуху за його уражаючими факторами // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: зб. наук. праць. – К., 2007. – Вип. 15. – 162 с.
6. Луговой, П. З. Визначення та аналіз ударних і сейсмічних навантажень на об'єкт під дією вибуху / П. З. Луговой, І. І. Анік'єв, Є. О. Сущенко // Проблеми охорони праці в Україні: зб. наук. праць. – К., 2000. – Вип. 3. – 68 с.
7. Лучко, А. І. Напружено-деформаційний стан ґрунтів і гірських порід під час вибухів нових промислових сумішей вибухових речовин: автореф. дис.... канд. техн. наук: 26.002.22 / Лучко Андрій Іванович; Інститут гідромеханіки НАН України. – К., 2010. – 23 с.
8. Механический эффект взрыва в грунтах / И. А. Лучко, В. А. Плаксий, Н. С. Ремез, В. С. Бойван, П. П. Бондарь. – К.: Наук. думка, 1989. – 232 с.

9. Поведение грунтов под действием импульсных нагрузок / А. А. Вовк, Б. В. Замышляев, Л. С. Евтерев, И. В. Белинский, А. В. Михалюк. – К. : Наук. думка, 1984. – 288 с.
10. Физика взрыва / Ф. А. Баум, В. П. Орленко, К. П. Станюкович, В. П. Челишев, Б. И. Шехтер. – М. : Наука, 1973. – 704 с.
11. Chudek, H. Kompleksowa metoda prognozowania oddziaływania wpływu podziemnej eksploatacji złóż oraz wstępow górotworu na chronione obiekty powierzchniowe w brzeźnym obszarze niecki obniżeniowej / H. Chudek, W. Krawiec, A. Wowk. – Gliwice : Wydawnictwo politechniki sekiej, 2003. – 535 p.

В. П. БЕРБУШЕНКО^{1*}, О. В. МАРУЩАК¹

^{1*} Каф. «Военная подготовка Госспецтрансслужбы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, 49010, Украина, тел./факс + 38 (056) 379 19 09, ел. почта berbushenko.vladimir@gmail.com

ПРО НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ВЗРЫВОВ В ГРУНТАХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Цель. Определить актуальные и перспективные направления исследований разрушений неоднородных грунтовых массивов под воздействием взрывов, а также особенностей распространения взрывных волн через границы отделения сред в искусственных грунтах. **Методика.** Для достижения целей работы использованы методы изучения и анализа опубликованных результатов исследований о поведении грунтов во время взрыва, подбор методов, которые использовались при исследовании взрывов в естественных и искусственных грунтах. **Результаты.** Анализ научных публикаций на тему поведения грунтов во время взрыва показывает, что изучению подлежало поведение естественных грунтов во время взрывов в основном взрывчатых веществ (ВВ) для промышленных горно-взрывных работ. **Научная новизна.** Изучение природы поведения искусственных грунтов во время взрывов, прогнозирование последствий и разработка технологий их ликвидации является важной задачей подразделений Держспецтрансслужбы, актуальной в современных условиях существующих угроз во время взрыва. Методы исследований, которые предлагаются, не являются новыми, но по отношению к искусственным грунтам они не применялись. **Практическая значимость.** Перечень и объемы угроз, которые существуют в современном мире, говорят о необходимости знаний последствий к которым могут привести взрывы в отношении к основам транспортных объектов.

Ключевые слова: искусственный грунт; взрыв; среда взрыва; волна сжатия; эпицентр взрыва

V. P. BERBUSHENKO^{1*}, O.V. MARUSHYAK¹

ABOUT SOME ASPECTS OF EXPLOSION IN THE SOILS OF ARTIFICIAL STRUCTURES

^{1*} Dep. «Military Training of State Special Transport Service», Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine, tel./fax + 38 (056) 379 19 09, e-mail berbushenko.vladimir@gmail.com

Purpose. To define actual and prospective research guidelines of the destruction of patchy soil masses under the influence of explosions as well as the peculiarities of the explosion waves expansion throughout the boundaries of mediums separation in artificial soils. **Methodology.** Methods of the study and analysis of published studies on the behavior of soils in the explosion are used, the research methods matching that were used in the investigation of the explosion in natural soils and for research in artificial soil. **Findings.** The analysis of scientific issues on the topic of soils' behavior during explosions shows that the natural soils behavior during the explosions in the main explosive for the manufacturing mining-and-explosive works is considered. **Originality.** The study of nature of artificial soils' behavior during explosions as well as the consequences prediction and the development of technologies of their liquidation is a very important task for the State Special Transport Service's subunit. The task is urgent especially considering the current situation of existing threats. Research methods that are offered are not new, but in relation to artificial soils, they were not applied. **Practical value.** List and volume of threats that exist in the world today, inform

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

about the need of the information concerning consequences that explosions may lead in relation to the fundamentals of transport facilities.

Keywords: artificial soil; explosion; explosion medium; waves of compression; explosion epicenter

REFERENCES

1. Vovk A.A. Stanovleniye i razvitiye v Ukraine issledovaniy po geodinamike vzryva [The formation and development of the explosion's geodynamics researches in Ukraine]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universitet Ukrainy "KPU". Seriya "Girnystvo"* [Bulletin of National Technical University in Ukraine "KPU". Series "Mining"]. Kiev, 2008, issue 17, pp. 9-24.
2. Vovk A.A., Baranovskiy Z., Kravets V.G., Kuzheya B. Zakonomernosti deformatsiy gruntov i gornykh porod pri dinamicheskikh vozdeystviyakh [The patterns of the soil and rocks deformation under dynamic loads]. Kiev, Institut gidromekhaniki NANU Publ., 1996. 170 p.
3. Kozlovskiy E.A. *Gornaya entsiklopediya. T. 5: SSSR–Yashma* (Mining encyclopedia, Vol. 5: USSR–Yashma). Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1991, 560 p.
4. Kravets V.G., Grishenko N.S., Demeshchuk L.I. *Formirovaniye inzhenernykh svoystv gruntov vzryvnymi metodami* [The formation of the soil engineering properties with explosive methods]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1983. 188 p.
5. Kuzmenko A.O. Otsinka masshtabnosti avariinoho vybukhu za yoho urazhaiuchymy faktoramy [The rating scale of emergency explosion by its striking factors]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universitetu Ukrainy "KPU". Seriya "Girnystvo"* [Bulletin of National Technical University in Ukraine "KPU". Series "Mining"]. Kiev, 2008, issue 15, 162 p.
6. Luhovyi P.Z., Anikiev I.I., Sushchenko Ie.O. Vyznachennia ta analiz udarnykh i seismichnykh navantazhen na ob'ekt pid diieiu vybukhu [The identification and analysis of shock and seismic loads on the object under the explosions' impact]. *Problemy okhorony pratsi v Ukraini* [The problems of labor protection in Ukraine], 2000, issue 3, p. 68.
7. Luchko A.I. *Napruzheno-deformatsiyni stan gruntiv i hirskykh porid pid chas vybukhiv novykh promyslovykh sumishei vybukhovyykh rehovyn*. Avtoreferat Diss. [The stress-strain state of the soil and rocks in the explosions of new industrial mixtures of explosives]. K.: Institut gidromekhaniky NANU Ukrainy [The Ukrainian NAS' institute of hydromechanics. Author's abstract.]. Kyiv, 2010. p 23.
8. Luchko I.A., Plaksiy V.A., Remez N.S., Boyvan V.S., Bondar P.P. *Mekhanicheskiiy effekt vzryva v gruntakh* [The mechanical effect of the explosion in the ground]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1989. 232 p.
9. Vovk A.A., Zamyshlyayev B.V., Yevterev L.C., Belinskiy I.V., Mikhalyuk A.V. *Povedeniye gruntov pod deistviyem impulsnykh nagruzok* [Soils behavior under the impact of impulsive loads]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1984. 228 p.
10. Baum F.A., Orlenko V.P., Stanyukovich K.P., Chelishev V.P., Shekhter B.I. *Fizika vzryva* [The physics of an explosion]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 704 p.
11. Chudek H., Krawiec W., Wowk A. Kompleksowa metoda prognozowania oddziaływania wpływu podziemnej eksploatacji złóż oraz wstczasów gorotworu na chronione obiekty powierzchniowe w brzeznyim obszarze niecki obniżeniowej. Gliwice, Wydawnictwo politechniki se skiej, 2003. 535 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна); д.т.н., проф. В. Г. Шаповал (Україна)

Поступила в редколегію 27.03.2013.

Прийнята до друку 12.04.2013.

УДК 691:699.86

А. С. ЩЕРБАК^{1*}

^{1*} Каф. «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373 15 59, эл. почта Pro-f@ukr.net

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель. Рассмотреть современные теплоизоляционные материалы, представленные на рынке Украины, и оценить эффективность их применения. **Методика.** Исследование и анализ теплоизоляционных материалов, представленных на рынке Украины, согласно существующим стандартам. **Результаты.** Для обеспечения энергосбережения в зданиях и сооружениях необходимо применять отечественный теплоизоляционный материал, который обладает заданными теплотехническими характеристиками, пониженными показателями водопоглощения, горючести и токсичности, а также повышенной долговечностью и относительно низкой себестоимостью. **Научная новизна.** Систематизированы основные теплоизоляционные материалы, которые наиболее широко применяются в строительстве, проведены исследования их свойств и выбран наиболее эффективный теплоизоляционный материал – пеностекло, который отличается высокими теплотехническими свойствами и обладает наилучшими экологическими показателями, а также стойкостью к воздействию агрессивных факторов. **Практическая значимость.** Особое внимание заслуживает теплоизоляционный материал – пеностекло, который является искусственным силикатным материалом с равномерно размещенными порами (0,1...5,0 мм), разделенными тонкими перегородками из стекловидного вещества, обладает необходимыми свойствами и, благодаря вышесказанному, может быть принят для исследований, направленных на его усовершенствование (модификацию). Результаты исследований могут быть применены в производстве пеностекла, которое применяется для теплоизоляции зданий и сооружений, оборудования, трубопроводов и т.д.

Ключевые слова: теплопроводность; энергосбережение; теплоизоляция; силикат; долговечность; водопоглощение; горючесть; токсичность; пористость; плотность; прочность

Постановка проблемы

Основным резервом энергосбережения является снижение потребления энергоресурсов объектами жилищно-общественного назначения, доля которых в общем потреблении строительной отраслью составляет свыше 80 %. Приведение теплотехнических свойств объектов к современному европейскому уровню позволит, кроме сбережения энергоресурсов, решить проблему обеспечения нормативного уровня комфорта жилой среды, отсутствие которого стало существенной социальной проблемой жильцов многоквартирных жилых домов и работников заведений социального назначения.

Анализ предварительных исследований

Проведенный анализ материалов исследований и публикаций [1-8] указал на проблемы использования современных теплоизоляционных материалов. Если говорить о пенополистироле, то основными его отрицательными свойствами являются недолговечность, горючесть и экологическая опасность.

Как показывает опыт строительства, заложенный в стены пенополистирол через 10–15 лет разрушается. Также обстоит дело с минераловатными изделиями. Уже через 7–9 лет они переходят в пылевидное состояние, что экологически небезопасно. Следовательно, использование пенопласта и минераловатных изделий в строительстве ведет к тому, что уже через 7–10 лет ограждающие конструкции не будут обеспечивать требуемого термического сопротивления. Несмотря на преимущества ячеистых бетонов в сравнении с другими теплоизоляционными материалами, им присущи существенные недостатки. Высокое водопоглощение приводит к низкой влагонепроницаемости и морозостойкости. Повышенная гидрофобность их снижает адгезию к поверхности и затрудняет штукатурные работы. Низкая прочность в сочетании с большой плотностью и недостаточными теплоизоляционными свойствами сужает область их применения [5].

Цель работы

Рассмотреть современные теплоизоляционные материалы, представленные на рынке Украины, и оценить эффективность их применения.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

ные материалы, представленные на рынке Украины, и оценить эффективность их применения.

Изложение основного материала

Учитывая большое разнообразие теплоизоляционных материалов, важным вопросом является их систематизация и разработка высокоэффективных материалов.

Благодаря проведенным исследованиям накоплен богатый экспериментальный опыт и разработаны эффективные материалы для обеспечения теплоизоляции зданий и сооружений. И проведение сравнительного анализа материалов позволит выбрать путь разработки новых составов для изготовления теплоизоляционных материалов и их эффективной оптимизации.

Известно, что основными требованиями к теплоизоляционным материалам являются низкая теплопроводность и пригодность для тепловой изоляции строительных конструкций жилищных, производственных и сельскохозяйственных зданий, поверхностей производственного оборудования и агрегатов (промышленных печей, турбин, трубопроводов, камер холодильников и др.).

Эти материалы должны иметь небольшую среднюю плотность – не выше 600 кг/м^3 , что достигается с помощью повышения их пористости [3].

В гражданском и транспортном строительстве тепловая изоляция позволяет уменьшить толщину ограждающих конструкций (стен, кровли), снизить затраты основных строительных материалов (кирпича, бетона, древесины), облегчать конструкции и снижать их стоимость, уменьшать затраты топлива в эксплуатационный период. В технологическом и энергетическом оборудовании тепловая изоляция снижает потери теплоты обеспечивает необходимый технологический температурный режим, снижает удельные затраты топлива на единицу продукции, улучшает условия труда. Чтобы получить достаточный эффект от применения тепловой изоляции, в инженерных проектах проводятся соответствующие тепловые расчеты, в которых принимаются конкретные разновидности теплоизоляционных материалов и учитываются их теплофизические характеристики [2].

За последние годы на украинском строи-

тельном рынке появились десятки новых теплоизоляционных материалов, благодаря чему произошел значительный прорыв, в первую очередь, в сфере энергосбережения. С развитием новых технологий, современные изоляционные материалы стали более эффективными, экологически безопасными, разнообразными и отвечают конкретным техническим заданиям строительства: возможности строительства высотных зданий, уменьшению толщины ограждающих конструкций, снижению массы зданий, расходов строительных материалов, а также экономии топливно-энергетических ресурсов при обеспечении нормального микроклимата в помещениях.

Для проведения качественной классификации теплоизоляционных материалов следует исследовать их особенности изготовления и свойства.

Органические теплоизоляционные материалы изготавливаются из натурального сырья: отходов деревообработки и сельского хозяйства, торфа, а также различных пластмасс, цемента. Это достаточно большая группа материалов, представленная на рынке в обширном ассортименте. Практически всем органическим теплоизоляторам свойственна низкая огне-, водо- и биостойкость. Как правило, применяют органические теплоизоляторы на участках, где температура поверхности и окружающей среды не поднимается выше 150°C , а также в качестве среднего слоя многослойных конструкций – в штукатурных фасадах, при облицовке стен, в тройных панелях и т. п.

Более стойки к действию влаги, огня и биоагентов, материалы, изготовленные из газонаполненных пластмасс (пенополистирол, пенопласт, поропласт, сотопласт и др.). Ячеистые пластмассы сегодня занимают значительную долю на рынке теплоизоляционных материалов. Утеплители на их основе пользуются заслуженной популярностью благодаря своим физическим свойствам, невысокой стоимости, простоте обработки и долговечности.

Изделия из арболита имеют следующий состав: портландцемент, мелковолоконистые компоненты (опилки, сеченая солома и камыш, щепа, стружка), а в качестве минерализатора используются химические добавки: растворимое стекло, сернокислый глинозем, хлористый кальций [6].

Наиболее распространен в современном

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

строительстве арболит, который имеет плотность $500...700 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность этого материала составляет $0,08...0,12 \text{ Вт/(мК)}$, прочность при сжатии – $0,5...3,5 \text{ МПа}$; прочность на растягивание при изгибе – $0,4...1,0 \text{ МПа}$.

Пенополивинилхлорид (ППВХ) изготавливается путем поризации поливинилхлоридных смол. Средняя плотность материала – $60...200 \text{ кг/м}^3$. Различают твердый и мягкий поливинилхлорид, что позволяет использовать его как теплоизоляционный материал, так и для фасадов, стен, пола и кровли, а также дверей.

Древесностружечные плиты (ДСП) состоят из органических волокнистых компонентов (как правило, специальным образом подготовлена древесная стружка) – 90 %; смолы на синтетической основе – 7...9 %; гидрофобизирующие вещества, антисептика, антипирен. Их плотность – $500...1000 \text{ кг/м}^3$; прочность при изгибе – от минимальной $10...25 \text{ МПа}$; влажность – 5...12 %; набухание в воде – 5...30 %.

Деревоволокнистые изоляционные плиты (ДВП) изготавливаются из отходов древесины: отходы деревообработки и лесопилен, бумажная макулатура, стебли кукурузы, соломы, как связующий компонент – всевозможные связующие: синтетические смолы и химические добавки (гидрофобизаторы, антипирены, антисептики), плотностью – до 250 кг/м^3 , прочностью при изгибе – до 12 МПа , теплопроводностью – до $0,07 \text{ Вт/(мК)}$.

Пенополиуретаны (ППУ) получают в результате химической реакции, в которую вступают полиэфир, вода, диизоцианид, эмульгаторы и катализаторы плотностью – $40...80 \text{ кг/м}^3$ (ППУ с плотностью выше 50 кг/м^3 приобретают также и гидроизоляционные свойства). ППУ обладают низкой теплопроводностью – $0,019...0,028 \text{ Вт/мК}$. Кроме тепло- и гидроизоляционных свойств, ППУ обладают высокой акустической изоляционной способностью, высокой химической стойкостью. Применяются для запиливаемой теплоизоляции, позволяют обеспечивать гидроизоляцию и утепление конструкций любой сложности, избегая возникновения «мостиков холода».

Мипора изготавливается путем вспенивания водной эмульсии смолы мочевино-формальдегидной, в которую для снижения хрупкости добавляется глицерин. Также в составе этого материала присутствуют нефтяные сульфокислоты (как пенообразователь) и органические

кислоты (как катализатор). Мипора может поставляться как в виде блоков, плит или крошки, так и заливаться в конструкции и полости, где и твердеет при комнатной температуре. Плотность ее не превышает 20 кг/м^3 (это почти в 10 раз меньше, чем у пробки), теплопроводность – $0,03 \text{ Вт/(мК)}$. Мипора не горит при температуре до $500 \text{ }^\circ\text{C}$, а лишь обугливается. Кроме того, в состав мипоры вводят антипирен, который предотвращает ее воспламенение в среде кислорода. Мипора чувствительна к агрессивному химическому действию. Из-за высокой пористости имеет значительное водопоглощение.

Пенополистирол (ППС) является пенопластом, который состоит на 98 % из воздуха и на 2 % – полистирола, выработанного из нефти, путем поэтапного процесса. Также в состав пенополистирола вводится незначительное количество разных модификаторов, например, антипирен. Его теплопроводность – $0,037...0,041 \text{ Вт/(мК)}$, а низкая гигроскопичность обуславливает отличные гидроизоляционные качества пенополистирола, стойкий к коррозии, он не создает благоприятную среду для развития микрофлоры, несклонный к действию биоагентов – обладает низкой горючестью. В принципе, это самозатухающий материал: при горении количество тепловой энергии, которая выделяется пенополистиролом, меньше, чем у древесины в 7 раз.

Вспененный полиэтилен изготавливается из полиэтилена с добавлением, как пенообразующего агента, углеводородов. Плотность его $25...50 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность – $0,044...0,051 \text{ Вт/мК}$. Используется в качестве шумо- и пароизоляции при температуре в диапазоне от -40 до $+100 \text{ }^\circ\text{C}$, имеет низкое водопоглощение, а также является химически и биологически стойким материалом.

Фибролит является плиточным материалом, который изготавливается из тонких, узких древесных стружек (древесной шерсти) и неорганического вяжущего компонента (как правило, для этого используется портландцемент, иногда – магнезиальное вяжущее). Плотность материала – $300...500 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность – $0,08...0,1 \text{ Вт/(мК)}$. Фибролит благодаря неорганическим добавкам имеет более высокие показатели огнестойкости, биологической и химической стойкости. Может применяться в условиях повышенной влажности, например, для обработки помещений, где расположены

бассейны [4].

В результате проведенных исследований у всех органических теплоизоляционных материалов основными недостатками являются их низкие показатели стойкости под воздействием нагрузок, огня, воды и грызунов. Кроме того, эти материалы имеют высокую степень токсичности, особенно во время пожаров. Поэтому их можно рекомендовать к использованию только в помещениях, где нет постоянного присутствия людей, или для утепления стен снаружи зданий, при условии обеспечения их надежной защиты от атмосферных воздействий.

Неорганические теплоизоляционные материалы представлены на рынке в еще более широком ассортименте. Для их производства применяется всевозможное минеральное сырье: горные породы, шлак, стекло, асбест. К утеплителям этого типа относится минеральная и стеклянная вата, изделия из них, некоторые легкие бетоны на вспученном перлите, вермикулите и других пористых заполнителях, ячеистые теплоизоляционные бетоны, асбестовые, асбестосодержащие, керамические материалы, пеностекло. Первое место по объемам производства среди всех теплоизоляционных материалов занимает минеральная вата. Наиболее популярна вата таких производителей, как Isover, Isoroc, Rockwool. Эти материалы мало гигроскопичные, огнестойкие, не поддаются загниванию. Их используют как для утепления строительных конструкций, так и для изоляции горячих поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов.

Минеральные утеплители выпускаются самого разного вида. Это могут быть и рулонные материалы, и жесткие плиты, и сыпучие материалы. Мы рассмотрим лишь основные из них и исследуем наиболее распространенные на рынке неорганические теплоизоляционные материалы, такие как: минеральная вата, стекловата, пеностекло, ячеистые бетоны, силикаты и др.

Минеральная вата, в зависимости от сырья, может быть каменной (базальт, доломит, диабаз, известняк, и ..) и шлаковой (шлаки черной и цветной металлургии). Кроме минерального сырья в составе минеральной ваты присутствуют связывающие компоненты: фенольная или карбомидная смола. Вата с фенольным связывающим веществом наиболее распространена в строительстве, поскольку является более

водостойким материалом, чем минеральная вата с карбомидным связующим. Минеральная вата является негорючим материалом. Кроме того, она способна предотвращать распространение огня, поэтому ее используют также и для огнезащиты и противопожарной изоляции. Минеральная вата (минвата) используется в качестве эффективной акустической изоляции, поскольку обладает высоким звукопоглощением. Она имеет чрезвычайно низкую гигроскопичность и высокую химическую стойкость. Минеральная вата дает очень низкую усадку, которая обеспечивает сохранение геометрических размеров материала в течение всего срока эксплуатации и предотвращает возникновение «мостиков холода». Недостатком минеральной ваты является ее высокая паропроницаемость. Поэтому теплоизоляция из минваты часто требует дополнительной пароизоляции.

Для изготовления стеклянной ваты (стекловата) используют то же сырье, что и для производства стекла или отходы стеклянной промышленности. Волокна стекловаты имеют большую, чем у минеральной ваты, толщину и длину. Благодаря этому стекловата обладает высшей прочностью и упругостью. Плотность стеклянной ваты в рыхлом состоянии – не выше 130 кг/м^3 , теплопроводность – $0,030...0,052 \text{ Вт/мК}$, температуростойкость – не превышает 450°C . Стекловата широко применяется как звукоизолятор. Обладает высокой стойкостью к химическому воздействию. Не гигроскопична, не склонна к коррозии, негорючая, не выделяет токсичных веществ под действием огня.

Керамическая вата изготавливается методом высокоскоростного центрифугирования или раздувания из окислов алюминия и кремния, циркония. Керамическая вата обладает существенно высшей термостойкостью, чем стеклянная вата, и даже опережает по этому показателю вату минеральную. Максимальная рабочая температура использования изделий из керамической ваты превышает 1000°C . Теплопроводность изделий – $0,13...0,16 \text{ Вт/мК}$ (при температуре 600°C), плотность – до 350 кг/м^3 . При температуре выше 100°C керамическая вата приобретает электроизоляционные свойства; обладает высокой химической стойкостью. Изделия из керамической ваты стойки к разным деформациям [1].

Пеностекло (пористое стекло) выпускают в виде блоков или плит путем спекания порошка стеклогранулята или некоторых горных пород

вулканического происхождения (сиенит, нефелин, обсидиан и др.) с газообразователями, например с известняком или антрацитом. При температуре 800...900 °С части стеклогранулята начинают сплавляться, а выделяющиеся из газообразователя газы образуют большое количество пор (пористость от 80 до 95 %). При этом в стекловидном материале межпоровых стенок содержатся мелкие микропоры. Двойной характер пористости обеспечивает высокую теплоизоляционную способность пеностекла. Теплопроводность у плит из пеностекла при средней плотности 150...300 кг/м³ колеблется от 0,04 до 0,12 Вт/(мК), а граница прочности при сжатии от 1,0 до 3,0 МПа, при этом они хорошо обрабатываются (пилятся, сверлятся, шлифуются). Изделия из пеностекла имеют высокую водостойкость, морозостойкость и температуростойкость. Для стекла обычного состава температуростойкость равняется 300...500 °С, для безщелочного стекла – до 1000 °С. Пеностекло применяют как утеплитель стен, перекрытий, полов и кровель промышленных и гражданских домов, в том числе железобетонных панелей в сборных крупнопанельных домах, в конструкциях холодильников, а также для изоляции тепловых установок и сетей [8].

Ячеистые бетоны и силикаты применяют как теплоизоляционные материалы и изделия при средней плотности ниже 400 кг/м³. По виду примененного порообразователя и вяжущего вещества в этих теплоизоляционных материалах их называют газобетонами, газосиликатами, пенобетонами, пеносиликатами. Эти бетоны могут быть смешаны с порообразователем и тогда имеют названия – пеногазобетон, пеногазосиликаты, керамзитопенобетоны и тому подобное. Из ячеистых бетонов обычно изготавливают плиты длиной до 1 000 мм, шириной 400, 500, 600 мм, толщиной 80, 240 мм. Их марки по средней плотности 350 и 400 кг/м³, а граница прочности при сжатии для изделий первой категории качества не менее 0,7 МПа, теплопроводность в сухом состоянии при температуре 25 °С составляет 0,093...0,15 Вт/(мК). Плиты из ячеистых бетонов применяют для теплоизоляции стен и перекрытий, покрытия поверхностей заводского оборудования и трубопроводов (пластичные бетоны и растворы) [4].

Все неорганические теплоизоляционные материалы имеют высокую стойкость к воздействию огня и не выделяют токсических веществ. Поэтому они являются наиболее универсальными при утеплении зданий и оборудования.

На основании проведенного анализа литературных источников и проведенных предварительных экспериментов была выполнена систематизация наиболее эффективных теплоизоляционных материалов. Так в отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Материалы и здания для железнодорожного транспорта» при Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта были проведены комплексные исследования групп теплоизоляционных материалов. Главной целью проведенных исследований было определение физико-механических свойств наиболее распространенных теплоизоляционных материалов (табл. 1).

Выводы

Проведя анализ теплотехнических характеристик разных теплоизоляционных материалов, представленных на рынке Украины, можно отметить, что все они удовлетворяют требованиям ДБН В 2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий», однако, также следует уточнить: пенополиуретан, пенополистирол, экструдированный пенополистирол, минеральная вата и изделия и вспененный полиэтилен выделяют токсичные вещества, концентрация которых не превышает ПДК, но обладает накопительными свойствами, что ограничивает область применения данных материалов. Наиболее оптимальным по теплотехническим, эксплуатационным и физико-механическим свойствам, а также, учитывая экологическую безопасность и технологичность, является пеностекло. Однако производство этого материала достаточно энергоемко и требует модификации и оптимизации составов, а также совершенствования технологии производства с целью снижения стоимости этого материала без потерь в физико-механических показателях.

Таблица 1

Физико-механические свойства теплоизоляционных материалов

Показатель	Базальтовая вата	Стекловата	Пенополистирол	Экструдированный пенополистирол	Пеностекло	Целлюлозная изоляция	Газобетон	Мипора
Коэффициент теплопроводности, λ (Вт/мК)	0,04...0,059	0,04...0,043	0,034...0,04	0,03	0,04...0,05	0,036...0,04	0,08...0,15	0,035...0,047
Водопоглощение, % по массе	до 70	до 70	1,5...3,5	0,1...0,4	0,2...1	20	20	15...20
Плотность, ρ (кг/м ³)	30	25	25...27	28...45	120...160	35...65	350...700	10...20
Прочность при сжатии, (МПа)	до 0,1	до 0,1	0,18	0,2...0,5	1...3	-	3...7	0,025...0,03
Прочность при изгибе, (МПа)	-	-	0,27	0,25...0,7	0,4...0,6	-	2...5	0,025...0,03
Коэф-нт паропроницаемости, μ (мг/м·ч·Па)	0,54	0,55	0,05	0,015...0,018	0...0,005	0,3	0,23...0,28	0,2...0,3
Горючесть, марка	НГ	НГ	Г1 - Г4	Г1 - Г4	НГ	Г1 - Г2	НГ	Г2
Рабочая температура, (°C)	до +700	от -60 до +450	от -50 до +60	от -50 до +75	от -30 до +500	-	от -30 до +400	от -50 до +100
Долговечность, (лет)	до 50	до 10	10 - 15	до 50	Неограничено	до 80	В сухом состоянии неограничено	больше 50

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Будівельне матеріалознавство на транспорті : підручник для вузів / О. М. Пшінько, А. В. Краснюк, В. В. Пунагін, О. В. Громова. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – 624 с.
- Горлов, Ю. П. Технология теплоизоляционных материалов : учебник для вузов / Ю. П. Горлов, А. П. Меркин, А. А. Устенко. – М : Стройиздат, 1980. – 399 с.
- Кривенко, П. В. Будівельне матеріалознавство : підручник / П. В. Кривенко, К. К. Пушкарьова, В. Б. Барановський. – К. : ТОВ УВПК «ЕксОб», 2004. – 704 с.
- Сухарев, М. Ф. Производство теплоизоляционных материалов / М. Ф. Сухарев, И. Л. Майзель, В. Г. Сандлер. – М. : Высшая школа, 1981. – 231 с.
- Пшінько, А. Н. Модифицированный теплоизоляционный неорганический материал на основе алюмосиликатного сырья как альтернатива существующим утеплителям / А. Н. Пшінько, А. В. Краснюк, А. С. Щербак // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. трудов. – Вып. 61. – Д. : ПГАСА, 2011. – С. 344–349.
- Теплоизоляционные материалы и конструкции : учебник / Ю. Л. Бобров, Е. Г. Овчаренко, Б. М. Шойхет, Е. Ю. Петухова. – М. : Инфра-М, 2003. – 265 с.
- Щербак, А. С. Експлуатаційні та екологічні переваги теплоізоляції із застосуванням модифікованого піноскла / А. С. Щербак // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 32. – С. 141–142.
- Schill, F. Pěnové sklo: výroba a použití / F. Schil. – Praha : SNTL, 1962. – 269 p.

А. С. ЩЕРБАК^{1*}

^{1*}Каф. «Графіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел.+38 (056) 373 15 59, ел. пошта Pro-f@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета. Розглянути сучасні теплоізоляційні матеріали, представлені на ринку України, і оцінити ефективність їх застосування. **Методика.** Дослідження і аналіз теплоізоляційних матеріалів, представлених на ринку України, згідно існуючим стандартам. **Результати.** Для забезпечення енергозбереження в будівлях і спорудах необхідно застосовувати вітчизняний теплоізоляційний матеріал, який володіє заданими теплотехнічними характеристиками, зниженими показниками водопоглинання, горючості і токсичності, а також підвищеною довговічністю і відносно низькою собівартістю. **Наукова новизна.** Систематизовані основні теплоізоляційні матеріали, які найширше застосовуються в будівництві, проведені дослідження їх властивостей і вибраний найбільш ефективний теплоізоляційний матеріал – піноскло, який відрізняється високими теплотехнічними властивостями і володіє якнайкращими екологічними показниками, а також стійкістю до дії агресивних чинників. **Практична значимість.** На особливу увагу заслуговує теплоізоляційний матеріал – піноскло, який є штучним силікатним матеріалом з рівномірно розміщеними порами (0,1...5,0 мм), розділеними тонкими перегородками з склоподібної речовини, володіє необхідними властивостями і, завдяки вищесказаному, може бути прийнятий для досліджень, направлених на його удосконалення (модифікацію). Результати досліджень можуть бути застосовані у виробництві піноскла, яке використовується для теплоізоляції будівель і споруд, устаткування, трубопроводів і так далі.

Ключові слова: теплопровідність; енергозбереження; теплоізоляція; силікат; довговічність; водопоглинання; горючість; токсичність; пористість; щільність; міцність

A. S. SHCHERBAK^{1*}

^{1*}Dep. "Graphics", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 373 15 59, e-mail Pro-f@ukr.net

RESEARCH OF PROPERTIES OF MODERN HEAT-INSULATION MATERIALS

Purpose. To study the modern heat-insulating materials presented at the market of Ukraine and to estimate the efficiency of their application. **Methodology.** Research and analysis of heat-insulating materials presented at the market of Ukraine, according to the existing standards. **Findings.** To ensure the energy efficiency in buildings and constructions it is necessary to apply the domestic heat-insulating material, which possesses the given thermo technical characteristics, reduced indexes of water absorption, flammability and toxicity, as well as durability and relatively low self-cost. **Originality.** Basic heat-insulating materials, which are most widely used in construction are systematized, the researches of their properties are conducted and the foam glass is chosen as the most effective heat-insulating material. It is characterized by high thermo technical characteristics and possesses the best ecological indexes, as well as the sturdiness for aggressive factors influence. **Practical value.** Special attention deserves the insulating material foam glass, which is a synthetic silicate material with evenly placed pores (0.1 ... 5.0 mm) separated by thin septa with a vitreous substance possesses the necessary properties and by aforesaid may be accepted for studies aimed its improvement (modification). The results of researches can be applied in the foam glass production, which is used for heat-insulation of buildings and constructions, equipment, pipelines etc.

Keywords: heat conductivity; energy efficiency; heat-insulation; silicate; durability; water absorption; flammability; toxicity; porosity; density; strength

REFERENCES

1. Pshinsko O.M., Krasniuk A.V., Punahin V.V., Hromova O.V. *Budivelne materialoznavstvo na transporti* [Building material science on the transport]. Dnipropetrovsk, Vyd-vo Dnipropetr. nats. un-tu zalozn. transp. im. akad. V. Lazariana Publ., 2010. 624 p.
2. Gorlov Yu.P., Merkin A.P., Ustenko A.A. *Tekhnologiya teploizolyatsionnykh materialov* [Technology of heat-insulating materials]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980. 399 p.
3. Kryvenko P.V., Pushkarova K.K., Baranovskyi V.B. *Budivelne materialoznavstvo* [Building material science]. Kyiv, CLL UVPK «Eksob» Publ., 2004. 704 p.
4. Sukharev M.F., Mayzel I.L., Sandler V.G. *Proizvodstvo teploizolyatsionnykh materialov* [Production of heat-insulating materials]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1981. 231 p.
5. Pshinko A.N., Krasnyuk A.V., Shcherbak A.S. Modifitsirovanny teploizolyatsionny neorganicheskiy material na osnove alyumosilikatnogo syrya kak alternativa sushchestvuyushchim uteplitelyam [Modified heat-insulating inorganic material on the basis of aluminosilicate raw material as an alternative to existent insulants]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye* [Building, material science, mechanical engineering], 2011, issue 61, pp. 344-349.
6. Bobrov Yu.L., Ovcharenko Ye.G., Shoykhet B.M., Petukhova Ye.Yu. *Teploizolyatsionnye materialy i konstruksii* [The heat-insulating materials and constructions]. Moscow, Infra-M Publ., 2003. 265 p.
7. Shcherbak A.S. Ekspluatatsiini ta ekolohichni perevahy teploizoliatsii iz zastosuvanniam modyfikovanoho pinoskla [Operating and ecological advantages of heat-insulation with the use of the modified foam glass]. *Visnyk Dniepropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]. 2010, issue 32, pp. 141-142.
8. Schill F. *Pěnové sklo: výroba a použití*. Praha, 1962. 269 p.

Статья рекомендована к публикации, д.т.н., проф. Н. И. Нетесой (Украина); д.т.н., проф. Л. С. Савиным (Украина)

Надійшла до редколегії 11.02.2013.

Прийнята до друку 05.04.2013.

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

УДК 378.015.3:796.011

В. В. ПІЧУРІН^{1*}

^{1*}Каф. «Фізичне виховання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 64, ел. пошта valeriypichurin@gmail.com

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПСИХОЛОГІЧНОЇ І ПСИХОФІЗИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ У ПРОЦЕСІ ФІЗИЧНОГО ВИХОВАННЯ

Мета. Виявити теоретико-методологічні основи для проведення психологічної і психофізичної підготовки студентів в процесі фізичного виховання. **Методика.** В якості методу дослідження використано теоретичний аналіз. **Результати.** Суть авторського підходу полягає в ствердженні того, що методологічне підґрунтя для постановки питання про психологічну і психофізичну підготовку особистості студента в процесі фізичного виховання виявляється при аналізі в психології і філософії таких фундаментальних питань як психофізична проблема, взаємовплив організму і психіки людини, проблема особистості в психології. **Наукова новизна.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше обґрунтовано теоретико-методологічні засади для проведення психологічної і психофізичної підготовки студентів в процесі фізичного виховання. **Практична значимість.** Результати дослідження дають необхідне теоретичне підґрунтя для вироблення чітких критеріїв і вимог до студентів в процесі психологічної і психофізичної підготовки, створення точних методів оцінювання її складових, розробки ефективних методик формування психологічної і психофізичної готовності студентів в процесі фізичного виховання.

Ключові слова: фізичне виховання; психологічна і психофізична підготовка; психофізична проблема; організм; психіка; психологія особистості

Постановка проблеми

В наш час поняття «фізичне виховання» трактується ширше і глибше у порівнянні з тим періодом, коли його зміст зводився до оволодіння руховими навичками й уміннями та розвитку фізичних якостей людини. Одночасно з вищезгаданими необхідно вирішувати освітні, оздоровчі і багато які інші завдання. Йде активне переосмислення перспектив фізичної культури. Це проявляється, зокрема, в розробці нових програм із фізичного виховання, в яких акцент зміщується в бік впливу на внутрішні спонукальні сили щодо занять фізичною культу-

рою, розробці в цій сфері нових концепцій, педагогічних технологій та ін.

Одним із завдань, які доцільно вирішувати в процесі фізичного виховання у вищих навчальних закладах, є, на нашу думку, формування психологічної і психофізичної підготовленості студентів до майбутньої професійної діяльності. Констатуємо вищезгадане, ми виходимо з того, що для сучасного виробництва характерними є високі вимоги до професійної діяльності фахівця, складність і великі витрати на його підготовку, в ряді випадків, екстремальні умови праці. Якісне виконання інженером своїх професійних обов'язків потребує великого

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

напруження психічних і фізичних сил. Ці вимоги передбачають необхідність формування у професійно-значимому напрямку певних структурних компонентів особистості. Саме від них залежить результативність виконання професійних функцій. Відсутність уявлення про роль особистості в загальній професійній схемі призводить до того, що абсолютна більшість зусиль при підготовці інженерів спрямовується виключно на систему загальних та спеціальних знань. Формування інших компонентів структури особистості відбувається майже стихійно.

До цього часу існує спрощена думка, відповідно до якої професійні знання є основою професійної підготовки, а інші сторони покликані обслуговувати їх освоєння. У той же час, звичними стають претензії до психологічної і психофізичної підготовленості (багато, наприклад, говориться про так званий людський фактор у зв'язку з аварійністю). Проте в загальній підготовці інженера як такої «місця» для психологічної і психофізичної підготовки немає. Вважається, що вона здійснюється в єдності з іншими сторонами підготовки. Таким чином, спостерігається розрив між вимогами практики і реаліями підготовки інженера. Все це вимагає проведення професійно орієнтованої психологічної і психофізичної підготовки.

Свій вагомий вклад у вирішення завдань психологічної і психофізичної підготовки майбутніх залізничників може внести і така навчальна дисципліна як фізичне виховання. Фізкультурна і спортивна діяльність студентів під час занять, якщо її цілеспрямовано відповідно організувати, може бути ефективною у вищезгаданому плані. Постає питання про теоретико-методологічне обґрунтування проведення психологічної і психофізичної підготовки студентів-залізничників в ході фізичного виховання. Спроба автора дати відповідь на поставлене питання і складає зміст роботи.

Мета дослідження

Виявити теоретико-методологічні основи психологічної і психофізичної підготовки студентів в процесі фізичного виховання і на цій основі з'ясувати наукову обґрунтованість постановки питання про психологічну і психофізичну готовність особистості до процесу фізич-

ного виховання є метою даного дослідження.

Завдання дослідження

1. Виявити коло теоретико-методологічних питань стосовно проведення психологічної і психофізичної підготовки студентів в процесі фізичного виховання.

2. Дослідити накопичені в психології та інших науках дані, які дозволять зробити висновок про наукову обґрунтованість постановки питання про психологічну і психофізичну підготовку особистості в процесі фізичного виховання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вихідними положеннями дослідження стали наступні припущення про теоретико-методологічну основу психологічної і психофізичної підготовки студентів під час навчальних занять з фізичного виховання, що виявляються на філософському і психологічному рівні.

Виходячи з того, що фізичне виховання безпосередньо пов'язане із впливом на організм людини, а психологічна і психофізична підготовка спрямована головним чином на психічні складові, необхідно провести аналіз тих філософських і психологічних питань, які прямо пов'язані з предметом дослідження, а саме: психофізична проблема в історії досліджень, взаємовплив організму і психіки, уявлення про особистість в сучасній психології.

Психофізична проблема в філософії і психології розглядається в широкому сенсі як питання про відношення психічних явищ до фізичних, а в більш вузькому – як питання про співвідношення між психічними і фізіологічними (нейрогуморальними) процесами.

У психології над вирішенням проблеми працювали У. Джемс [7], К. Гольдштейн [14], В. Франкл [13], С. Л. Рубінштейн [12], представники так званого психосоматичного підходу в медицині [1], дослідники сфери психології розвитку [8], психотерапевти [4] та ін. Їх аналіз дає підстави стверджувати, що психофізична проблема відноситься до того типу задач, які вважаються такими, що не мають рішення. У той же час, базуючись на психофізичних принципах, можна зробити два важливих для

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

фізичного виховання висновки: 1) впливаючи на організм людини, можна змінювати деякі психічні складові; 2) впливаючи на психіку людини, можна змінювати деякі особливості функціонування її організму.

Важливе значення для вирішення поставлених в даній роботі завдань має психологія особистості (більшість завдань психологічної і психофізичної підготовки спрямовані на формування в професійно-значимому напрямі структурних компонентів особистості). Необхідно відзначити, що сьогодні відсутній єдиний погляд серед психологів не тільки на теорію особистості, але й на саме її визначення. Цей факт підтверджується, наприклад, в таких дослідженнях як [2, 3, 6, 9–11, 15, 16] та багатьох інших.

В психології виділяють чотири головних підходи в вивченні особистості: біологічний, експериментальний, соціальний і психометричний. В рамках біологічного підходу вивчення особистості здійснюється з точки зору раніше набутого досвіду, генетичних фундацій і еволюційного розвитку. Взаємодія аспектів поведінки і біологічної основи – предмет особливої уваги біологічного підходу. Прихильники експериментального підходу за основу вивчення особистості обирають дослідження процесів сприйняття, навчання і вищої нервової діяльності. Розуміння цих процесів дає можливість зрозуміти те, як конкретні події впливають на наступуючу за ними поведінку індивіда через вплив на структуру його особистості. При соціальному підході вивчається соціальне оточення індивіда і його вплив на розвиток особистості. Психометричний підхід демонструє дослідження особистості, що відображають внутрішню структуру властивостей особистості. Вимір властивостей особистості ґрунтується на спостереженнях за поведінкою індивіда, на самозвітах, на непрямій оцінці характеристик.

Виклад основного матеріалу дослідження

Суть авторського підходу полягає в ствердженні того, що методологічне підґрунтя для постановки питання про психологічну і психофізичну підготовку особистості студента в процесі фізичного виховання виявляється при аналізі в психології і філософії таких фундамента-

льних питань як психофізична проблема, взаємовплив організму і психіки людини, проблема особистості в психології.

Формулюючи головні результати дослідження, відзначаємо наступне:

1. В філософії і психології психофізична проблема розглядається в широкому сенсі як питання про відношення психічних явищ до фізичних, а в більш вузькому – як питання про співвідношення між психічними і фізіологічними процесами.
2. Варіанти вирішення психофізичної проблеми пропонували: Р. Декарт, Г. Лейбніц, Д. Гартлі, У. Джемс, К. Гольдштейн, В. Франкл, С. Л. Рубінштейн, З. Фрейд, представники психосоматичного підходу в медицині та ін. Питання взаємодії психічного й фізичного розглядається і в такому розділі психологічних знань, як психологія розвитку. Спроби теоретичного аналізу психофізичної проблеми робляться і з боку психотерапії.
3. Серед психологів визнається, що не існує незалежної від тіла психіки.
4. Характерною ознакою сучасної філософської думки є те, що одним із напрямків пошуку є звернення до проблеми фізичного в людині. Тіло людини визнається як один із найсуттєвіших чинників людського буття. При цьому підкреслюється хибність стереотипу розуміння тілесності, який відносить її у суто природній світ. Звертається увага на те, що місце тілесності у людському бутті визначається не абстрактною ідеєю тіла, а колом тих можливостей існування, котрі виникають завдяки тілесності людини і мають її за передумову [5].
5. Ряд вчень «сходу» і «заходу» звертають увагу на взаємозалежність організму і психіки людей. Перш за все це стосується типу тілобудови і темпераменту людей.
6. Психологічні чинники здійснюють суттєвий вплив на фізичні характеристики людини. Фізичні реакції організму на суб'єктивний стан особистості фіксуються на різних рівнях структури організму: фізіологічному, нейроанатомічному, нейрохімічному.
7. Одним із важливих завдань психологічної і психофізичної підготовки студента в процесі

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

- фізичного виховання у вищій школі є формування особистості студента. Для його вирішення викладач повинен бути добре обізнаним з усіма сторонами і характеристиками особистості, зі способами її формування і розвитку.
8. В сучасній психології немає єдності як стосовно теорії особистості, так і стосовно її визначення. Найбільш вдалим, на думку автора, є визначення Г. Олпорта, в якому особистість розглядається як прижиттєво сформована, індивідуально своєрідна сукупність психофізіологічних систем – рис особистості, якими визначаються своєрідні для даної людини мислення і поведінка.
 9. Проблема особистості в психології, насамперед, пов'язана з розглядом таких питань як структура і динаміка. В вітчизняній психології існує ряд підходів до розуміння структури особистості. Найбільш інформативним, на думку автора, є підхід М. С. Бургіна [3]. Динаміку особистості утворюють три складові. Їх умовно можна назвати: характеристична, функціональна, динамічна і взаємозв'язки між ними.
 10. Особистість в психології описують або в термінах її властивостей (якостей) або в термінах типів. Властивість – це довгий час існуюча і стабільна риса, що проявляється у великому розмаїтті ситуацій життя людини. Тип особистості служить як позначення комплексу окремих рис в припущенні, що загальний тип характеристик особистості існує в дійсності.

Висновки

В сучасній психології і філософії є достатнє методологічне підґрунтя для постановки питання про проведення психологічної і психофізичної підготовки студентів в процесі фізичного виховання. Воно пов'язане з дослідженням у рамках цих наук психофізичної проблеми, взаємовпливу організму і психіки людини, проблеми особистості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Александер, Ф. Человек и его душа: познание и врачевание от древности и до наших дней / Ф. Александер, III. Селесник. – М. : Прогрес – Культура, 1995. – 608 с.
2. Балл, Г. О. Категория личности в психологии: попытка упорядочивания понятийного поля / Г. О. Балл // Психолого-педагогические заветы развития личности в образовательном пространстве (19.03.2008) : материалы методологического семинара АПН Украины – К., 2008. – С. 103–110.
3. Бургин, М. С. Методологический уровень практических задач педагогики / М. С. Бургин, С. У. Гончаренко // Философская и социологическая мысль. – 1989. – № 4. – С. 3–11.
4. Газарова, Е. Э. Психология телесности / Е. Э. Газарова. – М. : Институт общегуманитарных исследований, 2002. – 192 с.
5. Гомілко, О. Метафізика тілесності: концепт тіла у філософському дискурсі / О. Гомілко. – К. : Наукова думка, 2001. – 340 с.
6. Давыдов, В. В. О понятии личности в современной психологии / В. В. Давыдов // Психологический журнал. – 1988. – Т. 9. – № 4. – С. 22–32.
7. Джемс, У. Психология / У. Джемс. – М. : Педагогика, 1991. – 368 с.
8. Крэйг, Г. Психология развития / Г. Крейг – СПб. : Питер, 2000. – 992 с.
9. Леонтьев, Д. А. Новые ориентиры понимания личности в психологии: от необходимого к возможному / Д. А. Леонтьев // Вопросы психологии. – 2011. – № 1. – С. 3–27.
10. Максименко, С. Д. Генеза здійснення особистості / С. Д. Максименко. – К. : Вид-во ТОВ «КММ», 2006. – 256 с.
11. Мироненко, И. А. О классификации концепций личности и имплицитных основаниях психологических теорий / И. А. Мироненко // Вопросы психологии. – 2006. – № 4. – С. 95–105.
12. Рубинштейн, С. Л. Принципы и пути развития психологии / С. Л. Рубинштейн. – М. : АН СССР, 1959. – 354 с.
13. Франкл, В. Человек в поисках смысла / В. Франкл. – М. : Прогресс, 1990. – 368 с.
14. Холл, К. Теории личности / К. Холл, Г. Линдсей. – М. : ЗАО Изд-во ЭКСМО-Пресс, 1999. – 592 с.
15. Maddi, S. R. Personality: A comparative analysis. Homewood : Dorsey Press, 1972. – 669 p.
16. Mayer, John D. A Really Big Picture of Personality / John D. Mayer., М. Korogodsky // Social and Personality Psychology Compass. – 2011. – vol. 5. – issue 2. – P. 104–117.

1. Александер, Ф. Человек и его душа: познание и

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

В. В. ПИЧУРИН^{1*}

^{1*}Каф. «Физическое воспитание», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373 15 64, ел. почта valeriy.pichurin@gmail.com

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ И ПСИХОФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ

Цель. Выявить теоретико-методологические основы для проведения психологической и психофизической подготовки студентов в процессе физического воспитания. **Методика.** В качестве метода исследования использован теоретический анализ. **Результаты.** Суть авторского подхода заключается в утверждении того, что методологическое основание для постановки вопроса о психологической и психофизической подготовке личности студента в процессе физического воспитания проявляется при анализе в психологии и философии таких фундаментальных вопросов, как психофизическая проблема, взаимодействие организма и психики человека, проблема личности в психологии. **Научная новизна.** Научная новизна полученных результатов состоит в том, что впервые обоснованы теоретико-методологические основания для проведения психологической и психофизической подготовки студентов в процессе физического воспитания. **Практическая значимость.** Результаты исследования дают необходимое теоретическое основание для выработки чётких критериев и требований к студентам в процессе психологической и психофизической подготовки, создания точных методов оценивания её составных, разработки эффективных методик формирования психологической и психофизической готовности студентов в процессе физического воспитания.

Ключевые слова: физическое воспитание; психологическая и психофизическая подготовка; психофизическая проблема; организм; психика; психология личности.

V. V. PICHURIN^{1*}

^{1*}Dep. «Physical education», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician. V. Lazaryan, Lazaryan Str. 2, 49010 Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 373 15 64, e-mail valeriy.pichurin@gmail.com

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL BASES OF PSYCHOLOGICAL AND PSYCHOPHYSICAL TRAINING OF STUDENTS IN THE PROCESS OF PHYSICAL EDUCATION

Purpose. To elicit theoretical and methodological bases for conducting the psychological and psychophysical training of students in the process of physical education. **Methodology.** A theoretical analysis is used as a research method. **Findings.** The crux of the author's approach is in assertion that methodological base for statement of a question about psychological and psychophysical training of students in the process of physical education shows itself at an analysis in psychology and philosophy such fundamental questions as psychological problem, interaction of person constitution and psyche, problem of a person in psyche. **Originality.** For the first time theoretical and methodological bases are grounded for conducting psychological and psychophysical training of students in the process of physical education. **Practical value.** Research results give necessary theoretical reason for distinct criteria formation and requirements for students in psychological and psychophysical training, exact evaluation methods making of its components, development of effective methods in forming of students' psychological and psychophysical training in the process of physical education.

Keywords: physical education; psychological and psychophysical training; psychological problem; constitution; psyche; psychology of a person

REFERENCES

1. Aleksander F., Selesnik S. *Chelovek i yego dusha: poznaniye i vrachevaniye ot drevnosti i do nashikh dney* [Man and his soul: understanding and healing from ancient times to the present day]. Moscow, Progress - Kultura Publ., 1995. 608 p.
2. Ball G.A. Katehoriia osobystosti u psykholohii: sprobа vporiadkuvannia poniattievoho polia [Category of personality psychology: an attempt to streamline the field conceptual. *Materialy metodolohichnoho seminaru APN Ukrainy* [Proc. of methodological workshop Pedagogical Sciences of Ukraine]. Kyiv, 2008, pp. 103-110.
3. Burgin M.S., Goncharenko S.Y. Metodologicheskii uroven prakticheskikh zadach pedagogiki [Methodological level of practical problems of pedagog]. *Filosofskaya i sotsiologicheskaya mysl - Philosophical and sociological thought*, 1989, no. 4. pp. 3-11.
4. Gazarova Ye.Ye. *Psikhologiya telesnosti* [Psychology of physicality]. Institut obshchegumanitarnykh issledovaniy Publ., Moscow, 2002, 192 p.
5. Gomilko O. *Metafizyka tilesnosti: kontsept tila u filosofskomu dyskursi* [Metaphysics of physicality: the concept of the body in philosophical discourse]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 2001, 340 p.
6. Davydov V.V. O ponyatii lichnosti v sovremennoy psikhologii [On the concept of identity in contemporary psychology]. *Psikhologicheskii zhurnal - Psychological Journal*, 1988, vol. 9, no. 4, pp. 22-32.
7. Dzheims W. *Psikhologiya* [Psychology]. Moscow, Pedagogika Publ., 1991, 368 p.
8. Kreyg G. *Psikhologiya razvitiya* [Psychology of Development]. St. Petersburg, "Piter" Publ., 2000, 992 p.
9. Leontev D.A. Novyye oriyentiry ponimaniya lichnosti v psikhologii: ot neobkhodimogo k vozmozhnomu [New benchmarks in the understanding of personality psychology from the necessary to the possible]. *Voprosy filosofii - Questions of psychology*, 2011, no. 1, pp. 3 - 27.
10. Maksymenko S.D. Heneza zdiisnennia osobystosti [Genesis of personality's exercise]. Kyiv, Izd. Ltd. "CMM" Publ., 2006. 256 p.
11. Mironenko I.A. O klassifikatsii kontseptsii lichnosti i implitsitnykh osnovaniyakh psikhologicheskikh teoriy [Classification of concepts of personality and implicit basis of psychological theories]. *Voprosy filosofii - Questions of psychology*, 2006, no. 4, pp. 95-105.
12. Rubinshteyn S.L. *Printsipy i puti razvitiya psichologii* [Principles and the ways of psychology development]. Moscow, Academy of Sciences Publ., 1959. 354 p.
13. Frankl V. *Chelovek v poiskakh smysla* [Man's Search for Meaning]. Moscow, Progress Publ., 1990. 368 p.
14. Hall K., Lindsay G. *Teorii lichnosti* [Theories of Personality]. Moscow, ZAO Publishing House EKSMO-Press Publ., 1999. 592 p.
15. Maddi S.R. *Personality: A comparative analysis*. Homewood, Dorsey Press Publ., 1972. 669 p.
16. Mayer John D., Korogodsky M.A. Really Big Picture of Personality. *Social and Personality Psychology Compass*, 2011, vol. 5, issue 2, pp. 104-117.

Стаття рекомендована до публікації к.пед.н., доц. Доценко О. М. (Україна); д.пед.н., проф. В. В. Приходько (Україна)

Надійшла до редколегії 04.04.2013

Прийнята до друку 11.04.2013.

ЗМІСТ

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

О. Ю. КАМЕНЄВ

ПРОБЛЕМАТИКА ПІДХОДІВ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИКОРИСТАННЯ ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ
КЕРУВАННЯ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ7

А. А. КОСОЛАПОВ

МЕТОДИКА ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ НЕЧІТКИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ВИДІВ РОЗМИТИХ
МНОЖИН17

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Є. Я. КОСЕНКО, С. В. КУХЛІВСЬКИЙ, Б. М. БОНДАРЕНКО, І. І. ПОДЗІГУН

УДОСКОНАЛЕННЯ РЕАГУВАННЯ НА АВАРІЙНІ СИТУАЦІЇ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ
НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ НА ЗАЛІЗНИЦІ28

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Ю. С. БАРАШ, Л. В. МАРЦЕНЮК

ФОРМУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ ЗА ВИДАМИ ДІЯЛЬНОСТІ35

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

А. Ф. ГОЛОВЧУК, К. В. ПРИХОДЬКО

ВІЛЬНОПОРШНЕВИЙ ДВИГУН-ГІДРОНАСОС ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ49

Т. М. МІЩЕНКО

МЕТОДИ АНАЛІЗУ СТОХАСТИЧНИХ ПЕРЕХІДНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ
У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ56

А. В. НІКІТЕНКО, М. О. КОСТІН

КОРЕЛЯЦІЙНО-ДИСПЕРСІЙНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ ПОВНОЇ ПОТУЖНОСТІ
В ПРИСТРОЯХ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ64

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

І. А. ВАКУЛЕНКО

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ ЗНОШУВАННЯ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ З МАРТЕНСИТНОЮ СТРУКТУРОЮ76

В. В. ДУДКІНА

АДГЕЗІЙНА МІЦНІСТЬ НІКЕЛЕВИХ ТА ЦИНКОВИХ ПОКРИТТІВ З МІДНОЮ ОСНОВОЮ,
ЕЛЕКТРОСАДЖЕНИХ В УМОВАХ ЗОВНІШНЬОЇ СТИМУЛЯЦІЇ ЛАЗЕРНИМ ВИПРОМІНЬОВАННЯМ.....83

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Н. О. ЛОГВІНОВА

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА НАПРЯМКУ
ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ ЗНАМ'ЯНКА–ОДЕСА92

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Ю. І. КАЗАЧА, С. В. ШНУРОВИЙ, В. А. ІВАНОВ, В. А. ДЗЕНЗЕРСЬКИЙ, С. В. БУРИЛОВ, В. Ю. СКОСАРЬ

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РВ-СА-SN СПЛАВІВ І СТІЧОК ДЛЯ СТРУМОВІДВОДІВ
ГЕРМЕТИЗОВАНИХ СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ (VRLA)99

С. А. КОСТРИЦЯ, Б. М. ТОВТ ОПТИМІЗАЦІЯ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПЛАНУВАЛЬНИКА БАЛАСТНОЇ ПРИЗМИ СПЗ-5/UA	106
А. В. САЇДОВА, А. М. ОРЛОВА РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВАГОНІВ НА ВІЗКАХ 18-9810 І 18-9855 ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСУ КОЛІС	118
С. А. УСТЕНКО, С. В. ДІДАНОВ МЕТОД ПОБУДОВИ ПРОСТОРОВОЇ ПЕРЕХІДНОЇ КРИВОЇ	124

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

В. П. БЕРБУШЕНКО, О. В. МАРУЩАК ПРО ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВИБУХІВ У ҐРУНТАХ ШТУЧНИХ СПОРУД	129
А. С. ЩЕРБАК ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	136

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

В. В. ПІЧУРІН ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПСИХОЛОГІЧНОЇ І ПСИХОФІЗИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ У ПРОЦЕСІ ФІЗИЧНОГО ВИХОВАННЯ	144
--	-----

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ

А. Ю. КАМЕНЕВ

ПРОБЛЕМАТИКА ПОДХОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ7

А. А. КОСОЛАПОВ

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ НЕЧЁТКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ РАЗМЫТЫХ МНОЖЕСТВ17

ЭКОЛОГИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Е. Я. КОСЕНКО, С. В. КУХЛИВСКИЙ, Б. М. БОНДАРЕНКО, И. И. ПОДЗИГУН

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕАГИРОВАНИЯ НА АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ28

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Ю. С. БАРАШ, Л. В. МАРЦЕНЮК

ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПО ВИДАМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ35

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

А. Ф. ГОЛОВЧУК, К. В. ПРИХОДЬКО

СВОБОДНОПОРШНЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ-ГИДРОНАСОС ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.....49

Т. Н. МИЩЕНКО

МЕТОДЫ АНАЛИЗА СТОХАСТИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ.....56

А. В. НИКИТЕНКО, Н. А. КОСТИН

КОРРЕЛЯЦИОННО-ДИСПЕРСИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ В УСТРОЙСТВАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА64

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

И. А. ВАКУЛЕНКО

ВЫЯСНЕНИЕ МЕХАНИЗМА ИЗНАШИВАНИЯ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ С МАРТЕНСИТНОЙ СТРУКТУРОЙ76

В. В. ДУДКИНА

АДГЕЗИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ НИКЕЛЕВЫХ И ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ С МЕДНОЙ ОСНОВОЙ, ЭЛЕКТРООСАЖДЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕЙ СТИМУЛЯЦИИ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ83

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТА И ЭКОНОМИКИ

Н. А. ЛОГВИНОВА

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЕЗДОПОТОКОВ НА НАПРАВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ХОДАМИ ЗНАМЕНКА–ОДЕССА92

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

Ю. И. КАЗАЧА, С. В. ШНУРОВОЙ, В. А. ИВАНОВ, В. А. ДЗЕНЗЕРСКИЙ, С. В. БУРЫЛОВ, В. Ю. СКОСАРЬ

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РВ-СА-SN СПЛАВОВ И ЛЕНТ ДЛЯ ТОКООТВОДОВ ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫХ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ (VRLA)99

С. А. КОСТРИЦА, Б. Н. ТОВТ ОПТИМИЗАЦИЯ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПЛАНИРОВЩИКА БАЛЛАСТНОЙ ПРИЗМЫ СПЗ-5/UA	106
А. В. САИДОВА, А. М. ОРЛОВА РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВАГОНА НА ТЕЛЕЖКАХ 18-9810 И 18-9855 ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОВ КОЛЕС	118
С. А. УСТЕНКО, С. В. ДИДАНОВ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПЕРЕХОДНОЙ КРИВОЙ	124

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

В. П. БЕРБУШЕНКО, О. В. МАРУЩАК ПРО НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ВЗРЫВОВ В ГРУНТАХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ	129
А. С. ЩЕРБАК ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	136

РАЗВИТИЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

В. В. ПИЧУРИН ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ И ПСИХОФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ	144
---	-----

CONTENTS

TRANSPORT AUTOMATED CONTROL SYSTEM

O. Y. KAMENYEV

PROBLEM OF GOING NEAR RESEARCH OF THE USE SAFETY OF ERGATIC CONTROL SYSTEMS
ON RAILWAY TRANSPORT7

A. A. KOSOLAPOV

RELIABILITY OF FUZZY SYSTEMS EVALUATION METHODOLOGY USING DIFFERENT TYPES
OF VAGUE SETS17

TRANSPORT ECOLOGY

Ye. Ya. KOSENKO, S. V. KUKHLIVS'KYI, B. M. BONDARENKO, I. I. PODZIGUN

IMPROVEMENT OF ACTIONS ON EMERGENCY SITUATIONS AT TRANSPORTATION OF DANGEROUS
FREIGHTS BY RAIL TRANSPORT28

TRANSPORT ECONOMICS

U. S. BARASH, L. V. MARTSENYUK

FORMING THE ORGANIZATIONAL STRUCTURE FOR ACTIVITIES35

ELECTRIC TRANSPORT

A. F. GOLOVCHUK, K. V. PRIKHODKO

FREE-PISTON ENGINE-AND-HYDRAULIC PUMP OR RAILWAY VEHICLES.....49

T. M. MISHCHENKO

ANALYSIS METHODS OF STOCHASTIC TRANSIENT ELECTRO-MAGNETIC PROCESSES
IN ELECTRIC TRACTION SYSTEM56

A. V. NIKITENKO, M. O. KOSTIN

THE METHOD OF THE CORRELATION AND DISPERSION DEFINING
OF THE TOTAL POWER COMPONENTS IN THE ELECTRIC TRANSPORT DEVICES64

MATERIAL SCIENCE

I. A. VAKULENKO

ELUCIDATION OF MECHANISM WEAR CARBON STEEL WITH STRUCTURE OF MARTENSITE76

V. V. DUDKINA

ADHESION STRENGTH OF NICKEL AND ZINC COATINGS WITH COPPER BASE ELECTROPLATED
IN CONDITIONS OF EXTERNAL STIMULATION BY LASER IRRADIANCE83

TRANSPORT AND ECONOMIC TASKS MODELING

N. A. LOGVINOVA

ECONOMIC AND MATHEMATICAL JUSTIFICATION OF TRAIN TRAFFIC VOLUME DISTRIBUTION
ON THE DIRECTION OF RAIL TRANSPORTATION WITH PARALLEL RUNNINGS ZNAMENKA-ODESSA.....92

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

Yu. I. KAZACHA, S. V. SHNUROVOY, V. A. IVANOV, V. A. DZENZERSKIY, S. V. BURYLOV, V. YU. SKOSAR

RESEARCH OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF PB-CA-SN ALLOYS AND TAPES
FOR CURRENT LEADS IN SEALED LEAD-ACID BATTERIES (VRLA)99

S. A. KOSTRITSYA, B. M. TOVT OPTIMIZATION OF BEARING STRUCTURE OF BALLAST LEVELING MACHINE SPZ-5/UA	106
A. V. SAIDOVA, A. M. ORLOVA DEVELOPMENT OF DYNAMIC MODELS OF WAGONS ON MODELS 18-9810 AND 18-9855 BOGIES TAKING INTO ACCOUNT WHEEL WEAR RESEARCH	118
S. A. USTENKO, S. V. DIDANOV METHOD OF CONSTRUCTION SPATIAL TRANSITION CURVE	124

TRANSPORT CONSTRUCTION

V. P. BERBUSHENKO, O. V. MARUSHYAK ABOUT SOME ASPECTS OF EXPLOSION IN THE SOILS OF ARTIFICIAL STRUCTURES	129
A. S. SHCHERBAK RESEARCH OF PROPERTIES OF MODERN HEAT-INSULATION MATERIALS	136

HIGH SCHOOL DEVELOPMENT

V. V. PICHURIN THEORETICAL AND METHODOLOGICAL BASES OF PSYCHOLOGICAL AND PSYCHOPHYSICAL TRAINING OF STUDENTS IN THE PROCESS OF PHYSICAL EDUCATION	144
--	-----

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 в електронному виглядах у програмі Microsoft Word 2003 або більш ранній – файли *.doc (файли *.docx, *.docm – не приймаються).

Наукова стаття повинна відповідати вимогам п. 3 Постанови ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003 року.

Матеріали рецензуються членами редакційної колегії збірника та сторонніми незалежними експертами, виходячи з принципу об'єктивності та з позицій вищих міжнародних академічних стандартів якості, та редагуються. Редакція залишає за собою право на стилістичну правку рукопису.

Вимоги щодо об'єму наукових статей, повідомлень, відгуків та рецензій:

- оглядові та проблемні статті – до 45 000 знаків з пробілами (7-10 стор.);
- загальні статті за рубриками видання – до 30 000 знаків з пробілами (5-7 стор.);
- наукове повідомлення – до 8 000 знаків з пробілами (до 2,5 стор.);
- відгук або рецензія – до 6 000 знаків з пробілами (до 2 стор.).

Матеріал надається у форматі A4, враховуючи таблиці, ілюстрації, список використаних джерел. Статті, більші за обсягом, можуть бути прийняті до розгляду на підставі рішення редколегії.

Увага! Журнал готується до експертизи в наукометричній базі даних SciVerse Scopus. Із цим фактом пов'язаний ряд необхідних вимог, а саме: наявність авторських розширених і структурованих резюме (рефератів – abstracts), у т.ч. – англійською мовою, рецензій, пристатейних списків літератури в романському алфавіті тощо.

Рекомендуємо скористатися правилами до оформлення статей журналу:
<http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/Vumogu.pdf>.

Для прийняття статті до друку автору/авторам необхідно:

1. Для електронної інформації сформувати всі матеріали в п'яти файлах:

- **Перший** – із текстом статті та анотацій з ключовими словами. Назва файлу – прізвище та ініціали автора (першого співавтора) латинськими літерами, наприклад, Ivanov_II_stattia.doc.
- **Другий** – з розширеними відомостями про автора/авторів (прізвище, ім'я, по батькові; посада; вчений ступінь; учене звання; місце роботи або навчання; адреса електронної пошти; номери контактних телефонів). Назва файлу – Ivanov_II_vidomosti.doc.
- **Третій** – рецензія (відсканований). Назва файлу – Ivanov_II_recenziia.jpg.
- **Четвертий** – Експертний висновок (відсканований). Назва файлу – Ivanov_II_vysnovok.jpg. (складається в вільній формі)
- **П'ятий** – Ліцензійний договір (відсканований). Назва файлу – Ivanov_II_dogovor.jpg. Текст договору: <http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/license.doc>.

2. Для друкованої інформації. Матеріали до редакції надаються особисто або надсилаються поштою. До них відносяться: 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) (для співробітників ДНУЗТ) Рекомендація до друку за підписом відповідального редактора розділу.

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, будь ласка, звертайтеся до редакції журналу за адресою:

Науково-технічна бібліотека (ауд. 166),
 Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту,
 вул. Лазаряна, 2,
 м. Дніпропетровськ,
 Україна,
 49010
 e-mail: visnik@diit.edu.ua
 Адреса сайту журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>



Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна веде підготовку докторантів та аспірантів за рахунок коштів Державного бюджету України – за державним замовленням – за наступними спеціальностями:

І. ДОКТОРАНТУРА

№	СПЕЦІАЛЬНІСТЬ	ШИФР
1	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
2	Управління проектами і програмами	05.13.22
3	Залізнична колія	05.22.06
4	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
5	Електротранспорт	05.22.09
6	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
7	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
8	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05

На підставі угод, що укладаються з докторантом і керівником вищого навчального закладу до докторантури приймаються громадяни України, кандидати наук, що мають наукові досягнення в обраній галузі.

Строк навчання 3 роки.

Вступники до докторантури, подають:

- заяву на ім'я ректора,
- копію першої сторінки паспорту,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку з бухгалтерії про заробітну платню,
- засвідчену копію диплому про закінчення вищого навчального закладу із зазначенням одержаної кваліфікації спеціаліста,
- копію диплома кандидата наук,
- копію атестату доцента, с.н.с. за їх наявності,
- розгорнутий план докторської дисертації,
- список опублікованих наукових праць та винаходів,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- три фотокартки розміром 3х4.

ІІ. АСПІРАНТУРА

№	СПЕЦІАЛЬНІСТЬ	ШИФР
1	Фізика твердого тіла	01.04.07
2	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
3	Математичне моделювання та обчислювальні методи	01.05.02
4	Неорганічна хімія	02.00.01
5	Управління проектами і програмами	05.13.22
6	Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика	05.14.06
7	Залізнична колія	05.22.06
8	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
9	Електротранспорт	05.22.09
10	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
11	Основи і фундаменти	05.23.02
12	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
13	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05
14	Технологія та організація промислового та цивільного будівництва	05.23.08
15	Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)	08.00.04
16	Історія філософії	09.00.05
17	Екологічна безпека	21.06.01

На підставі угод, що укладаються з аспірантом і керівником вищого навчального закладу, до аспірантури приймаються громадяни України, які мають вищу освіту і кваліфікацію спеціаліста.

Строк навчання в аспірантурі з відривом від виробництва – 3 роки, без відриву від виробництва – 4 роки.

Особи, допущені до вступних іспитів в аспірантуру, складають три іспити за програмою вищого навчального закладу:

- спеціальну дисципліну,
- філософію,
- іноземну мову

За консультаціями звертатися на відповідні кафедри університету.

Особи, що вступають до аспірантури, подають:

- заяву на ім'я ректора,
- письмовий висновок передбачуваного наукового керівника про можливість навчання в аспірантурі,
- рекомендацію вченої ради вищого навчального закладу до вступу в аспірантуру (для випускників поточного року),
- копію першої сторінки паспорту.
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу,
- посвідчення про складання кандидатських іспитів (за їх наявності),
- список опублікованих наукових праць та винаходів або реферат з обраної наукової спеціальності з рецензією передбачуваного наукового керівника,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3х4.

Прийом документів до докторантури та аспірантури з 01.09 по 30.09 щорічно.

Вступні іспити до аспірантури з 10.10 по 30.10 щорічно.

Початок занять з 01.12 щорічно.

За інформацією звертатися:

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту,
вул. Лазаряна, 2,
м. Дніпропетровськ,
Україна,
49010.

Тел. : (056) 373-15-44 (ректор проф. Пшінько Олександр Миколайович, Приймальна);

(056)373-15-29 – проректор з наукової роботи, проф. Мямлін Сергій Віталійович.

(056) 373-15-63 – завідувача аспірантурою та докторантурою Лахнова Ірина Анатоліївна, кімн. 320).

Інформація про спеціалізовані вчені ради університету.

В університеті працює 3 спеціалізовані вчені ради з захисту докторських та кандидатських дисертацій за спеціальностями:

- Д 08.820.01 – залізнична колія (05.22.06) та електротранспорт (05.22.09); 05.22.12 – промисловий транспорт;
- Д08.820.02 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів (05.22.07) і експлуатація та ремонт засобів транспорту (05.22.20); транспортні системи (05.22.01);
- К08.820.03 – економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності).

ДЛЯ НОТАТОК

Науковий журнал

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

№ 4 (46) 2013

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – Т. О. Колесникова

Комп'ютерне верстання – Т. В. Шевченко

Літературна обробка – Ю. Г. Дішкант

Формат 60 × 84¹/₈. Ум. друк. арк. 12,32. Тираж 300 пр. Зам. № _____.

**Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Адреса редакції, видавця:

вул. Лазаряна, 2, кім. 267, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Адреса дільниці оперативної поліграфії:

вул. Лазаряна, 2, кім. 1201, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна

Тел.: +38 (056) 47-19-66, факс: +38 (056) 47-19-83



Научный журнал

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

**(НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА. ВЕСТНИК ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА)**

№ 4 (46) 2013

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – Т. А. Колесникова

Компьютерная верстка – Т. В. Шевченко

Литературная обработка – Ю. Г. Дишкант

Формат 60 × 84¹/₈. Ус. печат. лист. 12,32. Тираж 300 экз. Зам. № _____.

**Издательство Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна**

Адрес редакции, издателя:

ул. Лазаряна, 2, ком. 267, г. Днепропетровск, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Адрес участка оперативной полиграфии:

ул. Лазаряна, 2, ком. 1201, г. Днепропетровск, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 47-19-66, факс: +38 (056) 47-19-83



Scientific Journal

**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. 4 (46) 2013

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – Т. О. Kolesnikova

Computer makeup – Т. V. Shevchenko

Redaction – Y. H. Dishkant

Format 60 × 84¹/₈. Conventional printed sheet 12,32. Circulation 300. Order no. _____.

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

Address of editor and editorial office

Lazaryan St., 2, r. 267, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Address of small offset printing office

Lazaryan St., 2, r. 1201, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Тел.: +38 (056) 47-19-66, Fax: +38 (056) 47-19-83

© Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна, 2013



СУЧАСНІ ЗАКЛАДИ ОСВІТИ - 2013
Четверта Міжнародна виставка

CERTIFICATE

якості наукових публікацій
УДОСТОЄНИЙ

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Міністерство освіти і науки,
молоді та спорту України

Міністр



Д. Табачник

Рішення
показники наукометричної
базисних Scopus
за 2012 рік

Національна академія
педагогічних наук України

Президент



В. Кремень

Асоціація користувачів
Української науково-освітньої
телекомунікаційної мережі «Уран»

Голова Ради



Ю. Якименко

110⁰⁰



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

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2013. 2(44). 1-160