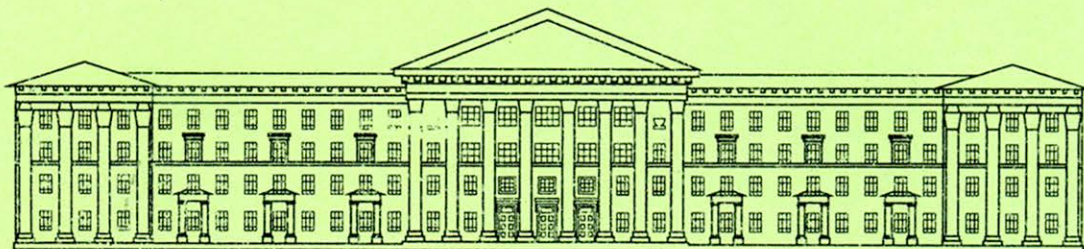




ISSN 2307-3489 (Print)
ISSN 2307-6666 (Online)



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

6(60)

.. 2015 ..

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

Маргарита Алигер, 1938 г.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Науковий журнал

№ 6 (60) 2015

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. Машини та механізми
Промисловий транспорт
Рухомий склад залізниць і тяга поїздів
Транспортне будівництво
Розвиток вищої школи

Дніпропетровськ

2015

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

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

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

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ (УКРАЇНА):

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

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

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

Журнал зареєстровано Державною реєстраційною службою Міністерства юстиції України. Свідоцтво про реєстрацію КВ № 19609-9409ПР від 29.12.2012 р.
Видання внесено до Переліку наукових фахових видань України наказом Міністерства освіти і науки України 29.12.2014 р. № 1528 (технічні науки).
Журнал зареєстровано: в міжнародних каталогах періодичних видань Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; наукометричних системах Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.
Друкується за рішенням вченої ради університету від 30.11.2015 р., протокол № 4

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.: +38 (056) 371-51-05; e-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua;
сайт журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>

Видання публікується з 1936 р.:

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

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

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

(НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА)

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

Научный журнал

№ 6 (60) 2015

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. Машины и механизмы
Промышленный транспорт
Подвижной состав железных дорог и тяга поездов
Транспортное строительство
Развитие высшей школы

Днепропетровск

2015

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

*ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО
СОВЕТА УНИВЕРСИТЕТА*

Пшинько А. Н., доктор технических наук

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА

Мямлин С. В., доктор технических наук

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Козаченко Д. Н., доктор технических наук

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Колесникова Т. А., кандидат наук
по социальным коммуникациям

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ (УКРАИНА):

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

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

Журнал
зарегистрирован Государственной регистрационной службой Министерства юстиции Украины.
Свидетельство о регистрации КВ № 19609-9409ПР от 29.12.2012 г.
Издание внесено в Перечень научных специализированных изданий Украины приказом Министерства образования и науки Украины 29.12.2014 г. № 1528 (технические науки).
Журнал зарегистрирован: в международных каталогах периодических изданий Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; наукометрических системах Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.
Печатается по решению ученого совета университета от 30.11.2015 г., протокол № 4

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.: +38 (056) 371-51-05;
учредителя e-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua; сайт журнала: http://stp.diit.edu.ua/

Издание публикуется с 1936 г.:

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

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

NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU

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

(SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

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

Scientific journal

No. 6 (60) 2015

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. Machines and Mechanisms
Industrial Transport
Rolling Stock and Train Traction
Transport Construction
High School Development

Dnipropetrovsk

2015

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

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

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

EDITORIAL BOARD MEMBERS (UKRAINE):

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

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

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

Journal was registered by the State Registration Service of the Ministry of Justice of Ukraine.
 Certificate of Registration KB no.19609-9409PR from 29.12.2012
 Edition is included in the list of scientific professional publications of Ukraine by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine 29.12.2014 r. no. 1528 (technical sciences).
 Journal is registered: in the International Catalogue of periodicals Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; research and metric systems Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.
 Published according to the Academic Council decision of the University from 30.11.2015, Protocol no. 4

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

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

Edition is being published since 1936:

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

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

UDC 629.4.066:656.259.13

O. Y. YEHOPOV^{1*}

^{1*}Dep. «Electronic Computing Machines», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 89, e-mail egoroffoleg@ukr.net, ORCID 0000-0002-8260-9463

THE USE OF THE EXPERIMENT PLANNING METHOD TO EVALUATE THE ACCURACY OF FLEXIBLE UNITS IDENTIFICATION

Purpose. The identification of rolling stock on the railroads is an integral part of many automation systems as trains in general and cars separately. Various information management systems at sorting yards require the operational information about the object while performing the manufacturing operations. The improvement of the determination accuracy of different parameters characterizing the rolling stock, leads to the immediate quality progress in the traffic volumes management. The aim of the paper is to develop a method to estimate the errors of determination the interaxle distance of the flexible units in the control section using the point path-control transducer for future identification of cars and locomotives. **Methodology.** To achieve this goal the simulation method and experiment planning were used. The simulation model allowing determining the time intervals between the collisions of wheel-set of movable units in point path-control transducer on the control section with variable characteristics of identification devices was developed. The values of the time intervals obtained with using the simulation mode were applied in the method of experiment planning to the final target. **Findings.** The calculated analytical values of the errors of the interaxle distances do not have the significant differences from values obtained using the simulation model. It makes possible to use the received functional dependence to estimate the possible errors in the identification of rolling stock. The results of this work can be used to identify separate flexible units, and trains in general. **Originality.** The functional dependence of the error of the interaxle distance error from the fixing point of the wheel path-control transducer, the distance between the sensors and the measured distance was derived using a previously conducted research of the factors influencing the error in determining the interaxle distance of the movable units, and developed simulation model to calculate the interaxle distance. **Practical value.** This functional dependence allows solving the following tasks: to calculate the maximum possible error of determining the interaxle distance of the movable units at known parameters of control section and calculation of parameters of the control section, when the possible acceptable error of determining the interaxle distance of the flexible units is known.

Keywords: experiment planning method; rolling stock identification; control section; axle spacing; point track transducer

Introduction

Identification of rolling stock on the railroads, as trains in general and cars separately, is an integral part of many automation systems. Various

information and management systems at sorting yards, performing the manufacturing operations, require the operational information about the object [8-11, 16, 17]. Improving the determination accuracy of different parameters characterizing the rolling stock, leads to the immediate improvement

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

quality progress of car traffic volumes management. The increase in the accuracy of the information, automatic acquisition and processing of signals increase the capacity of the station due to the time advantage when certain manufacturing operations is amenable to automation. And this in turn the decrease in cost of transportation, increase of cars use rationality, the liberation of human resources, improving the traffic safety on the railways, etc.

To the range of such systems tasks the following definition of the static characteristics of the rolling stock that passed the control section relates: the number of axes, number and number of axes of movable units, movable units type (platform, covered car, etc.), etc. In this case, each of the systems is presented in the form of implemented method to identify the flexible units consisting of reset algorithm, processing and analysis of data, and also the constructive possibilities of the control section and their means of railway automatics [1-3, 7, 14].

This paper considers a method of determining axle base of the movable units; more precisely the analysis of possible faults in determination of this parameter identification is carried out. Determination of interaxle distance of the flexible unit is the most often used to determine its type, which in some systems will allow determining a few figures of its item numbers. One of such systems is described in the paper [7].

Purpose

The aim of this work is to develop a method to estimate the determination errors of the interaxle distances of movable units in the control section using the point path-control transducer for future identification of cars and locomotives.

Methodology

The simulation method and experiment planning were used to achieve this goal.

Simulation model for determination the interaxle distance of the flexible units.

Definition of interaxle distance of the movable units used in various automated control systems at sorting yards and the adjacent railroad tracks. It is the most relevant to the tasks of determination the type of movable units, car base or cut, the axle counting systems, etc. Various methods of identification are applied, using special control sections, which includes the point path-control transducer, track circuits, photocells and other trackside assets used at the railway transport. In this paper, a method for determining the type of the movable units according to the calculated interaxle distances is considered. This method uses a control section which consists of three control points (point path-control transducer). The error of determining the interaxle distance arising from the use of such methods are associated with the mismatch moment of actuation of the track point detector with the passage of car wheels over the geometric center of the detector. This mismatch in the operation of the detector is taken as a random variable, distributed according to the normal law (Fig. 1).

The values taken in figure 1: δ – error of the detector, ΔL – the operating range of the detector, S – the interaxle distance of the movable unit, L – the distance between the control points CP1, CP2, CP3 which include one or two coupled track point detectors.

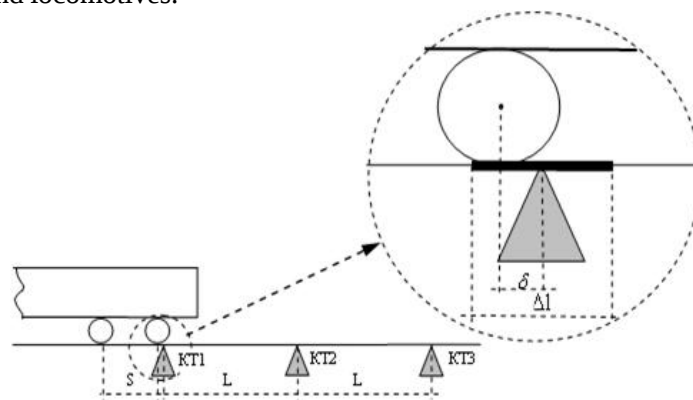


Fig. 1. The section structure of the identification phase of the rolling stock that is implemented in the simulation model

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

To study the effect of various factors affecting the identification process the simulation was chosen. The description of the simulation model is represented in the work [6]. It was suggested that the following factors affected the error of identification the most significantly:

- the initial speed of the wheel pair run over on the control section
- the acceleration of motion at the control section;
- the distance between the detectors;
- the value of the interaxle distance;
- accuracy of the point path-control transducer work (root mean square of the distance of the fixing wheel of movable unit by the normal law of distribution from the detector center, distributed by the normal law of distribution [15]).

The researches have shown that the speed and acceleration of flexible unit movement not have effect on the error of the interaxle distance determination in compared with other factors significantly.

The application of the experiment planning method. The obtained results with using the simulation model provide an opportunity to analyze quantitatively and qualitatively the possible errors of movable units identification, as well as their dependence on a number of factors affecting the identification process. However, this research does not allow calculating an expected error of identification definitely. To complete the task the method of experiment planning was chosen. Using this method, it is necessary to define the formula using of which is possible to determine the expected error for selected control section, means of railway automatics and identifiable rolling stock unambiguously.

All subsequent calculations in this chapter were carried out according to the method of experiment planning which was presented in the works [5, 13].

The control section on which was the determination of interaxle distance of the movable units was chosen as the object of research. The factors influencing on this process and described above were selected as the effects on the process, namely:

- the initial speed of the wheel pair run over on the control section, namely the first control point CP1 (V_i);
- the acceleration of motion at the control section (a);

- distance between the detectors (L);
- the value of the measured interaxle distance (S);
- precision of point path-control transducer work (σ_t).

In this case the response is taken as the value of the average quadratic deviation the error of determining the interaxle distance $\sigma_{\Delta S}$.

In result the chosen research object is described with five influences and one response, the study of which is our task. The resulting model of the experiment corresponds to a multifactorial experiment with one response.

In the initial experiment was consisted of five factors. The plan FFE 25 (five-factor two-level full factorial experiment) was used. The following values of the factors were taken as levels:

- initial speed V_i – 3 and 15 m/s;
- acceleration a – 0.1 and 0.5 m/s²;
- distance between the detectors L – 3 and 6 m;
- the value of the measured interaxle distance S – 2 and 14 m;
- the accuracy of point path-control transducers σ_t – 0.002 and 0.01 m.

The following results were obtained at processing the conducted experiments:

- the above mentioned factor levels of the simulation model did not meet the requirements of uniformity and adequacy;
- to achieve uniformity and adequacy of the model is possible only if reduce the intervals of variation of factor levels, which in turn is unacceptable for the description of the identification process;
- the values of speed and acceleration were not significant in compared with other factors as it was in the analysis of simulation results, and at processing the results of applying the method of experiment planning.

It was decided to conduct a multi-level three-factor experiment after analyzing the results of the previous experiment. The following independent variables were selected as factors:

- distance between the detectors L ;
- the value of the measured interaxle distance S ;
- precision of point path-control transducer work σ_t .

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

The variation of the factors was made as follows: the distance between the detectors was varied at two levels (range 3–6 m), the levels values – 3 and 6; the accuracy of the detector work on three levels (range 0,001–0,008 m), the levels values 0,002, 0,004 and 0,006; interaxle distance at four levels (range 1.5–15 m), the levels values 2, 5, 8 and 11. The levels values of interaxle distance factor were adopted according to the conducted analysis of cars and locomotives of 1 520 mm gauge [4, 12].

As it was noted above, the aim of the study is the analytical dependences obtaining the average quadratic deviation of the determination errors of the interaxle distance $\sigma_{\Delta S}$ as a function of three variables – L , S and σ_i . Preliminary analysis showed that this dependence cannot be described neither linear nor quadratic dependence. To determine the required dependence the device of orthogonal polynomials and planning of multi-level experiments was adopted.

Control points used to construct the system of orthogonal polynomials, will be varied with a constant step, therefore, the polynomials can be obtained using the recurrence formula [5]:

$$P_{r+1}(X) = P_1(X) \cdot P_r(X) - \left(r^2 \cdot (N^2 - 1) / 4 \cdot (4 \cdot r^2 - 1) \right) \cdot P_{r-1}(X), \quad (1)$$

where $\bar{X}$ – some of the physical independent variable or factor; N – number of experimental points; r – degree of the corresponding polynomial, $r = -1, 0, 1, \dots, N-1$.

In our case, the maximum degree of used polynomials is equal to 3. Therefore, the polynomials will be calculated by the following formulas:

$$P_0(X) = 1, \quad (2)$$

$$P_1(X) = \lambda_1 \cdot X - \bar{X} / d, \quad (3)$$

$$P_2(X) = \lambda_2 \cdot \left[\left(\frac{X - \bar{X}}{d} \right)^2 - \frac{N^2 - 1}{12} \right], \quad (4)$$

$$P_3(X) = \lambda_3 \times \left[\left(\frac{X - \bar{X}}{d} \right)^3 - \left(\frac{X - \bar{X}}{d} \right) \cdot \left(\frac{3 \cdot N^2 - 7}{20} \right) \right], \quad (5)$$

where λ_r – the multipliers, which depend on the number of variation levels N and the degree of polynomial r ; $\bar{X}$ – average value of factor; d – the step of varying.

It is necessary to make the transition from the physical to the coded variables by the formulas for the more compact forms of the orthogonal polynomials:

$$x_u = X_u - \bar{X} / d \quad (6)$$

when N – odd number,

$$x_u = X_u - \bar{X} / d / 2 \quad (7)$$

when N – even number.

In result the values of the polynomials for each of the variables will be as follows:

– variable L ranges at two levels, it will fit to a single polynomial of the first degree:

$$P_1(X_1) = \lambda_1 \cdot \frac{X_1 - \bar{X}_1}{d_1} = 2 \cdot L - 4.5 / 3 = x_1 = P_1(x_1) \{-1, 1\}; \quad (8)$$

– variable σ_i , ranges at three levels, it will correspond to the polynomials of the first and second degree:

$$P_1(X_2) = \lambda_2 \cdot \frac{X_2 - \bar{X}_2}{d_2} = \frac{\sigma_i - 0.004}{0.002} = x_2 = P_1(x_2),$$

$$P_2(X_2) = 3 \cdot x_2^2 - 2 = P_2(x_2) \{-1, 0, 1\}; \quad (9)$$

– variable S ranges at four levels, it will correspond to the polynomials of the first, second and third degree:

$$P_1(X_3) = \lambda_3 \cdot \frac{X_3 - \bar{X}_3}{d_3} = 2 \cdot \frac{S - 6.5}{3} = x_3 = P_1(x_3),$$

$$P_2(X_3) = \frac{1}{4} \cdot x_3^2 - \frac{5}{4} = P_2(x_3),$$

$$P_3(X_3) = \frac{5}{12} \cdot x_3^3 - \frac{41}{12} \cdot x_3 = P_3(x_3) \{-3, -1, 1, 3\}. \quad (10)$$

In addition to these polynomials the model will include paired and triple products of different variables polynomials. Thus, for ease of notation the polynomials the symbols of the received as follows will be applied: $P(x_i) = Pr_i$. The experiment plan

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

includes 24 control points, and therefore the same number of coefficients. Numbers of experimental points u , plan and results of the received response are presented in the table. The 5 parallel experiments were conducted for each selection.

The row mean values and dispersion were computed using the formulas:

$$\bar{y}_u = \sum_{i=1}^n y_{ui} / n, \quad (11)$$

$$S_u^2 = \sum_{i=1}^n y_{ui}^2 - n \cdot \bar{y}_u^2 / n - 1, \quad (12)$$

where n – the number of parallel experiments; y_{ui} – the value of i -th response for u -th selection

The Cochran criterion was chosen for the checking of row dispersions uniformity. According to this criterion, the coefficient $G_{cf} = 0,192$ (for $n=5$ and $N=24$) was obtained from the Cochran distribution for the significance level of $\alpha=0,05$. The Cochran criterion for conducted experiments was obtained by the formula

$$G_p = S_{u \max}^2 / \sum_{u=1}^N S_u^2. \quad (13)$$

The value of the G_p is equal to 0,165 that is less than the value G_{cf} , and then the uniformity of the row dispersions estimates is evident.

The values of b -coefficients were calculated according to the formula

$$b_i = \sum_{u=1}^N P_i(x_u) \cdot \bar{y}_u / \sum_{u=1}^N P_i^2(x_u). \quad (14)$$

The obtained values of b -coefficients were included in the resulting table of calculations. In the resulting table the columns of only those model members were taken into account, b -coefficients of which were statistically significant. The statistical significance of the b -coefficients was tested by the formula

$$|b_i| \leq b_{cr} = S_{bi} \cdot t_{table} = \sqrt{\frac{1}{N \cdot (n-1)} \sum_{u=1}^N \left(\sum_{j=1}^n y_{uj}^2 - n \cdot \bar{y}_u^2 \right)} / \sqrt{N \cdot n} \cdot t_{table}. \quad (15)$$

The coefficient $t_{table} = 2.06$ was taken from the tables of the Student distribution on significance level $\alpha = 0,05$ the number of freedom degrees is equal to 24. The next step is to test the adequacy of the model, which was performed by F -criteria. According to this criterion the critical value $F_{cr} = 1,94$, taken from tables of F distribution for significance level $\alpha = 0,05$ and number of degrees of freedom $f_{ad} = 8$ and $f_y = 96$, must be less than the calculated F_{calc} calculated by formulase

$$F_{calc} = \frac{n \cdot \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \bar{y})^2}{N - l} / S_y^2, \quad (16)$$

where $\bar{y}_u$ – the value of the response at the point; l – the number of significant b -coefficients.

The value of F_{calc} appeared to be equal to 0.49, which is less than F_{cr} , and it shows the adequacy of the model.

As a result of the experiments and processing the data, it became possible to write the adequate equation models

$$\begin{aligned} \bar{y}_u = & 0,00966 - 0,00425 \cdot P11 + 0,00496 \cdot P12 + \\ & + 0,00227 \cdot P13 + 0,00265 \cdot P23 + 0,00024 \cdot P33 - \\ & - 0,00228 \cdot P11 \cdot P12 - 0,00227 \cdot P11 \cdot P13 - \\ & - 0,00293 \cdot P11 \cdot P23 - 0,00016 \cdot P11 \cdot P33 + \\ & + 0,00123 \cdot P12 \cdot P13 + 0,00152 \cdot P12 \cdot P23 + \\ & + 0,00018 \cdot P12 \cdot P33 - 0,00124 \cdot P11 \cdot P12 \cdot P13 - \\ & - 0,0016 \cdot P11 \cdot P12 \cdot P23 - \\ & - 0,00013 \cdot P11 \cdot P12 \cdot P13. \end{aligned} \quad (17)$$

It is necessary to move from coded variables to their physical variables to obtain the required analytical dependences. Finally the required equation will be as follows:

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta S}(S, L, \sigma_t) = & -0,0593 \cdot L \cdot S^2 \cdot \sigma_t - 0,0054 - \\ & - 0,0000132 \cdot L \cdot S^3 + \\ & + 0,000277 \cdot L \cdot S^2 - 0,6181 \cdot L \cdot \sigma_t + \\ & + 0,00004 \cdot S^3 + 0,1344 \cdot S^2 \cdot \sigma_t - 1,5811 \cdot \sigma_t \cdot S + \end{aligned}$$

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

$$\begin{aligned}
& +0,0111 \cdot S^3 \cdot \sigma_t + 0,4659 \cdot \sigma_t \times \\
& \quad \times L \cdot S - 0,0015 \cdot L \cdot S + \\
& +0,00548 \cdot S + 0,00151 \times \\
& \quad \times L - 0,001 \cdot S^2 + 3,4956 \cdot \sigma_t. \quad (18)
\end{aligned}$$

Findings

In the result of research and calculations the analytically valid values computation of the errors of the interaxle distances of the movable units depending on the parameters of the control section, means of railway automatics and object identification became possible.

Originality and practical value

In the work the estimation mechanism of the possible errors of determination the center distance of the movable units was improved. That can improve the accuracy of identifying methods work, using the control section with defined point path-control transducer. Using the previously conducted studies of factors influencing on the errors of determining the interaxle distances of the movable units and developed simulation model to calculate the interaxle distance, the functional dependence of the error of the interaxle distances from the error of the fixing point with the wheel point path-control transducer, the distances between the detectors and the measured distance was derived.

This functional dependence allows solving the following tasks: to calculate the maximum possible errors of determining the interaxle distance of the movable units at known parameters of control section and the parameters computations of the control section, at the possible acceptable errors of determining the interaxle distance of movable units.

Conclusions

Results processing of the simulation process of determining the interaxle distance of the movable units on the control section allow drawing the following conclusions:

- values of speed and acceleration motion of the movable units are not essential for the identification process in comparison with other factors;
- the errors increase of the detector work leads to the error increasing in determining the interaxle distance;

- the increase of the measured interaxle distance increases the value of the identification error;
- increasing of the control section length leads to a reduction of the identification error.

Applying the method of experiment planning the analytical dependence of the interaxle distance error determination was obtained as a function of the following quantities:

- distance between the detectors L ;
- the value of the measured interaxle distances S ;
- precision of the point path-control transducer σ_t .

These recommendations are relevant for building the various information systems which are used as the input data of the movable units characteristics, received using the measuring on the control sections with applying the point path-control transducer.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. А. с. № 1799774, МКИ5 В 61 L 1/16. Устройство для вычисления данных для идентификации поездов в движении / В. А. Захаров, С. П. Колчук – № 4937555/11 ; заявл. 06.02.91 ; опубл. 07.03.93, Бюл. № 9. – 6 с.
2. А. с. № 1168458 СССР, МКИ4 В 61 L 1/16. Устройство для определения длины вагонов / Ю. Г. Боровков, А. М. Дудниченко, А. Н. Перов, И. Н. Перов (СССР). – № 3678439/27–11 ; заявл. 26.12.83 ; опубл. 23.07.85, Бюл. № 27. – 4 с.
3. А. с. № 1682228, МКИ5 В 61 L 1/16. Устройство для определения длины отцепов на сортировочной горке / О. С. Попов, А. М. Долаберидзе, В. П. Унтилов, В. А. Воронько, В. Н. Котелевец, В. И. Яценко. – № 4428794/11 ; заявл. 05.04.88 ; опубл. 07.10.91, Бюл. № 37. – 5 с.
4. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР : альбом. – Москва : Транспорт, 1989. – 173 с.
5. Егоров, А. Е. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента / А. Е. Егоров, Г. Н. Азаров, А. В. Коваль. – Харьков : Вища шк., 1986. – 240 с.
6. Егоров, О. И. Исследование погрешности определения типа подвижных единиц на железнодорожном транспорте / О. И. Егоров // 36. наук. пр. / Київ. ун-т економіки і технологій трансп. – Київ, 2003. – Вип. 4. – С. 36–41.
7. Жуковицкий, И. В. Автоматизированная идентификация подвижных единиц и поезда в целом / И. В. Жуковицкий, О. И. Егоров // Ин-

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- форм.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2012. – № 6. – С. 77–82.
8. Информационно-коммуникационные технологии в управлении : монография / А. А. Косолапов, А. В. Кувшинов, А. П. Нырков [и др.]. – Одесса : Купrienko СВ, 2015. – 245 с.
 9. Ключевая роль транспорта в современном мире : монография / А. А. Косолапов, А. Л. Блохин, К. Ф. Борjak [и др.]. – Одесса : Купrienko СВ, 2013. – 163 с.
 10. Марценюк, Л. В. Совершенствование процесса грузовых перевозок и механизма управления ими / Л. В. Марценюк, А. В. Вишнякова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 2 (50). – С. 41–48. doi: 10.15802/stp2014/23743.
 11. Музыкин, М. И. Влияние «окон» на пропускную способность железнодорожного направления / М. И. Музыкин, Г. И. Нестеренко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 3 (51). – С. 24–33. doi: 10.15802/stp2014/25797.
 12. Раков, В. А. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1976-1985) / В. А. Раков. – Москва : Транспорт, 1990. – 238 с.
 13. Харнтман, К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Харнтман, Э. Лецкий, В. Шефер. – Москва : Мир, 1977. – 552 с.
 14. Шамашов, М. А. Программно-аппаратный измеритель скорости и межосевых расстояний, счетчик вагонов и осей / М. А. Шамашов // Автоматика, телемеханика и связь. – 1994. – № 8. – С. 9–10.
 15. Штанке, А. Э. Исследование и выбор путевых датчиков в системе диспетчерского контроля / А. Э. Штанке, И. Г. Красовская // Совершенствование устройств ж.-д. автоматики и телемеханики : межвуз. сб. науч. ст. – Свердловск, 1973. – Вып. 34. – С. 59–66.
 16. Research on automatic adjustment of the phase plan in railway marshalling / L. Ma, J. Guo, G. W. Chen, R. Guo // J. of Transportation Engineering and Information. – 2013. – Vol. 11, № 3. – P. 18–28.
 17. Wagon-flow allocation optimization of stage plan at marshaling station in consideration of different size limitations of departure trains / H.-D. Li, S.-W. He, Y. Jing, S. Wang // J. of the China Railway Society. – 2012. – Vol. 34, № 7. – P. 10–17.

О. Й. ЄГОРОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Електронні обчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, ел. пошта egoroffoleg@ukr.net, ORCID 0000-0002-8260-9463

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХОМИХ ОДИНИЦЬ

Мета. Ідентифікація рухомого складу на залізницях, як поїздів у цілому, так і вагонів окремо, займає невід’ємну частину багатьох систем автоматизації. Різні інформаційно-керуючі системи на сортувальних станціях, виконуючи технологічні операції, потребують оперативної інформації про об’єкти управління. Підвищення точності визначення різних параметрів, що характеризують рухомий склад, призводить до безпосереднього поліпшення якості управління вагонопотоками. Мета роботи полягає в розробці способу оцінки помилок визначення міжосьових відстаней рухомих одиниць на контрольній ділянці з використанням точкових колійних датчиків для проведення подальшої ідентифікації вагонів та локомотивів. **Методика.** Для досягнення поставленої мети були використані імітаційне моделювання та метод планування експерименту. Була розроблена імітаційна модель, що дозволяє визначати тимчасові інтервали між наїздом колісних пар рухомих одиниць на точкові колійні датчики, розташовані на контрольній ділянці з варіюваними характеристиками пристроїв ідентифікації. Отримані з використанням імітаційної моделі значення часових інтервалів були застосовані в методі планування експерименту для досягнення кінцевої мети. **Результати.** Обчислені аналітично значення похибок визначення міжосьових відстаней не мають значущих відмінностей від значень, отриманих із використанням імітаційної моделі. Це в повній мірі дозволяє використовувати отриману функціональну залежність для оцінки можливих похибок ідентифікації рухомого складу. Результати даної роботи можуть бути використані як для ідентифікації окремих рухомих одиниць, так і для всього поїзда в цілому. **Наукова новизна.** Використовуючи попередньо проведені дослідження факторів, що впливають на похибку визначення міжосьових відстаней рухомих одиниць та розроблену імітаційну модель для обчислення міжосьових відстаней, була виведена функціональна залежність похибки визначення міжосьових відстаней.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

вих відстаней від помилки фіксації колеса точковим колійним датчиком, відстані між датчиками та вимірюваної відстані. **Практична значимість.** Дана функціональна залежність дозволяє вирішити наступні завдання: обчислення гранично можливих помилок визначення міжосьових відстаней рухомих одиниць при відомих параметрах контрольної ділянки та обчислення параметрів контрольної ділянки при відомих можливо допустимих помилках визначення міжосьових відстаней рухомих одиниць.

Ключові слова: метод планування експерименту; ідентифікація рухомого складу; контрольна ділянка; міжосьові відстані; точковий колійний датчик

О. И. ЕГОРОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Электронные вычислительные машины», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, эл. почта egoroffoleg@ukr.net, ORCID 0000-0002-8260-9463

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ЕДИНИЦ

Цель. Идентификация подвижного состава на железных дорогах, как поездов в целом, так и вагонов в отдельности, занимает неотъемлемую часть многих систем автоматизации. Различные информационно-управляющие системы на сортировочных станциях, выполняя технологические операции, нуждаются в оперативной информации об объектах управления. Повышение точности определения различных параметров, характеризующих подвижной состав, приводит к непосредственному улучшению качества управления вагонопотоками. Цель работы заключается в разработке способа оценки ошибки определения межосевых расстояний подвижных единиц на контрольном участке с использованием точечных путевых датчиков для проведения последующей идентификации вагонов и локомотивов. **Методика.** Для достижения поставленной цели были использованы имитационное моделирование и метод планирования эксперимента. Была разработана имитационная модель, позволяющая определять временные интервалы между колесными пар подвижных единиц на точечные путевые датчики, расположенные на контрольном участке с варьируемыми характеристиками устройств идентификации. Полученные с использованием имитационной модели значения временных интервалов были применены в методе планирования эксперимента для достижения конечной цели. **Результаты.** Вычисленные аналитически значения погрешностей определения межосевых расстояний не имеют значимых отличий от значений, полученных с использованием имитационной модели. Это в полной мере позволяет использовать полученную функциональную зависимость для оценки возможных погрешностей идентификации подвижного состава. Результаты данной работы могут быть использованы как для идентификации отдельных подвижных единиц, так и для всего поезда в целом. **Научная новизна.** Используя предварительно проведенные исследования факторов, влияющих на погрешность определения межосевых расстояний подвижных единиц, и разработанную имитационную модель для вычисления межосевых расстояний, была выведена функциональная зависимость погрешности определения межосевых расстояний от ошибки фиксации колеса точечным путевым датчиком, расстояния между датчиками и измеряемого расстояния. **Практическая значимость.** Данная функциональная зависимость позволяет решить следующие задачи: вычисление предельно возможных ошибок определения межосевых расстояний подвижных единиц при известных параметрах контрольного участка и вычисление параметров контрольного участка, при известных возможно допустимых ошибках определения межосевых расстояний подвижных единиц.

Ключевые слова: метод планирования эксперимента; идентификация подвижного состава; контрольный участок; межосевые расстояния; точечный путевой датчик

REFERENCES

1. Zakharov V.A., Kolchuk S.P. *Ustroystvo dlya vychisleniya dannykh dlya identifikatsii poyezdov v dvizhenii* [The device for calculation the data for the identification of trains in motion], no. 4937555/11. 1993.
2. Borovkov Yu.G., Dudnichenko A.M., Perov A.N., Perov I.N. *Ustroystvo dlya opredeleniya dliny vagonov* [A device for determining the length of cars]. no. 3678439/27–11. 1985.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

3. Popov O.S., Dolaberidze A.M., Untilov V.P., Voronko V.A., Kotelevets V.N., Yatsenko V.I. *Ustroystvo dlya opredeleniya dliny ottsepov na sortirovochnoy gorke* [A device for determining the length of cuts on the sorting yard], no.4428794/11.1991.
4. *Gruzovyye vagony kolei 1520 mm zheleznykh dorog SSSR: albom* [Freight cars of 1520 mm gauge of the USSR railways: the album]. Moscow, Transport Publ., 1989. 173 p.
5. Yegorov A.Ye., Azarov G.N., Koval A.V. *Issledovaniye ustroystv i sistem avtomatiki metodom planirovaniya eksperimenta* [Study of devices and systems of automation by means of experiment planning]. Kharkiv, Vyshcha shkola Publ., 1986. 240 p.
6. Yegorov O.I. *Issledovaniye pogreshnosti opredeleniya tipa podviznykh edinit na zheleznodorozhnom transporte* [Research of the error to determine the type of flexible units for railway transport]. *Zbirnyk naukovykh prats Kyivskoho universytetu ekonomiky i tekhnolohii transport* [Proc. of Kyiv University of Economy and Transport Technologies]. Kyiv, 2003, vol. 4, pp. 36-41.
7. Zhukovitskiy I.V., Yegorov O.I. *Avtomatizirovannaya identifikatsiya podviznykh edinit i poyezda v tselom* [Automated identification of flexible units and trains in general]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti – Information Management Systems in Railway Transport*, 2012, no. 6, pp. 77-82.
8. Kosolapov A.A., Kuvshinov A.V., Nyrkov A.P. *Informatsionno-kommunikatsionnyye tekhnologii v upravlenii* [Information and communication technology in management]. Odessa, Kupriyenko SV Publ., 2015. 245 p.
9. Kosolapov A.A., Blokhin A.L., Boryak K.F. *Klyuchevaya rol transporta v sovremennom mire* [The key role of transport in the modern world]. Odessa, Kupriyenko SV Publ., 2013. 163 p.
10. Martsenyuk L.V., Vishnyakova A.V. *Sovershenstvovaniye protsessa gruzovykh perevozok i mekhanizma upravleniya imi* [Improvement of freight transportation process and their management mechanism]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 2 (50), pp. 41-48. doi: 10.15802/stp2014/23743.
11. Muzykin M.I., Nesterenko G.I. *Vliyaniye «okon» na propusknyuyu sposobnost zheleznodorozhnogo napravleniya* [Influence of maintenance windows on the working capacity of railway route]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 3 (51), pp. 24-33. doi: 10.15802/stp2014/25797.
12. Rakov V.A. *Lokomotivy i motorvagonnyy podvizhnoy sostav zheleznykh dorog Sovetskogo Soyuz (1976-1985)* [The locomotive and railcar rolling stock of the Soviet Union railways (1976-1985)]. Moscow, Transport Publ., 1990. 238 p.
13. Khartman K., Letskiy E., Shefer V. *Planirovaniye eksperimenta v issledovanii tekhnologicheskikh protsessov* [Planning of experiment in investigation of technological processes]. Moscow, Mir Publ., 1977. 552 p.
14. Shamashov M.A. *Programmno-apparatnyy izmeritel skorosti i mezhosevykh rasstoyaniy, schetchik vagonov i osey* [Hardware-software measuring device of the velocity and interaxle distances, the count of cars and axles]. *Avtomatika, telemekhanika i svyaz – Automation, Telemechanics and Communications*, 1994, no. 8, pp. 9-10.
15. Shtanke A.E., Krasovskaya I.G. *Issledovaniye i vybor putevykh datchikov v sisteme dispetcherskogo kontrolya* [Research and selection of the travel sensors in the system of dispatcher control]. *Sovershenstvovaniye ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [The improvement of devices of railway automatics and telemechanics]. Sverdlovsk, 1973, vol. 34, pp. 59-66.
16. Ma L., Guo J., Chen G.W., Guo R. *Research on automatic adjustment of the phase plan in railway marshaling*. *Journal of Transportation Engineering and Information*, 2013, vol. 11, no. 3, pp. 18-28.
17. Li H.-D., He S.-W., Jing Y., Wang S. *Wagon-flow allocation optimization of stage plan at marshaling station in consideration of different size limitations of departure trains*. *Journal of the China Railway Society*, 2012, vol. 34, no. 7, pp. 10-17.

Prof. I. V. Zhukovitskiy, D. Sc. (Tech.) (Ukraine); Prof. V. V. Tkachev, D. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: Aug. 14, 2015

Received: Oct. 13, 2015

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

UDC 629.424.1-82:629.482

B. E. BODNAR¹, M. I. KAPITSA², O. B. OCHKASOV^{3*}, R. O. KORENYUK^{4*}

¹Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 01, e-mail bodnar@nz.diiit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

²Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, e-mail m.i.kapica@ua.fm, ORCID 0000-0002-3800-2920

^{3*}Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, e-mail oalexander@mail.ru, ORCID 0000-0002-7719-7214

^{4*}Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, e-mail koroman@ua.fm, ORCID 0000-0003-1416-4770

ENERGY EFFICIENCY OF DIESEL LOCOMOTIVE HYDRAULIC TRANSMISSION TESTS AT LOCOMOTIVE REPAIR PLANT

Purpose. In difficult economic conditions, cost reduction of electricity consumption for the needs of production is an urgent task for the country's industrial enterprises. Technical specifications of enterprises, which repair diesel locomotive hydraulic transmission, recommend conducting a certain amount of evaluation and regulatory tests to monitor their condition after repair. Experience shows that a significant portion of hydraulic transmission defects is revealed by bench tests. The advantages of bench tests include the ability to detect defects after repair, ease of maintenance of the hydraulic transmission and relatively low labour intensity for eliminating defects. The quality of these tests results in the transmission resource and its efficiency. Improvement of the technology of plant post-repairs hydraulic tests in order to reduce electricity consumption while testing. **Methodology.** The possible options for hydraulic transmission test bench improvement were analysed. There was proposed an energy efficiency method for diesel locomotive hydraulic transmission testing in locomotive repair plant environment. This is achieved by installing additional drive motor which receives power from the load generator. **Findings.** Based on the conducted analysis the necessity of improving the plant stand testing of hydraulic transmission was proved. The variants of the stand modernization were examined. The test stand modernization analysis was conducted. **Originality.** The possibility of using electric power load generator to power the stand electric drive motor or the additional drive motor was theoretically substantiated. **Practical value.** A variant of hydraulic transmission test stand based on the mutual load method was proposed. Using this method increases the hydraulic transmission load range and power consumption by stand remains unchanged. The additional drive motor will increase the speed of the input shaft that in its turn will allow testing in closer to real conditions as a result of increased load on the hydraulic transmission. Increased load on the hydraulic transmission will help to detect possible defects and hence will improve the quality of transmission repairs.

Keywords: hydraulic transmission; hydraulic testing; test stand; drive motor; load generator; additional motor

Introduction

Most locomotives with hydraulic power transmission used in Ukraine require overall or overhaul reconditioning. When performing the overhaul one of the complex and responsible diesel locomotive units is hydraulic transmission. After overhauls the locomotive hydraulic transmission is tested without load for the running-in purpose and with load to check the basic settings. Technical specifications of enterprises, which repair diesel locomotive hydraulic transmission, recommend conducting a certain amount of evaluation and regulatory tests to monitor their condition after repair. The quality of these tests results in the transmission resource and its efficiency.

Problem statement. When conducting the overhaul at the Dnipropetrovsk Diesel Locomotive Repair Plant «Promteplovoz» the most energy-consuming is the diesel locomotives hydraulic transmission test stand. Testing of hydraulic transmission in a wide power range is limited by technical capabilities of equipment and existing limits for energy consumption. In this connection the important task is the development of energy-efficient method for locomotive hydraulic transmission testing in locomotive repair plant environment.

Previous studies analysis. The problem of improved testing of locomotives with hydraulic transmission is researched in the works [6, 7, 9]. The research results can partly be used during bench testing of hydrodynamic transmissions in plant environment.

Industry research laboratory (IRL) «Technical maintenance and diagnostics of locomotives» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (DNURT) is working to improve testing of locomotive hydraulic transmissions under the conditions of Diesel Locomotive Repair Plant [5, 8, 11, 12].

In [3, 4] the author considered the mutual load system of traction electric machines with direct and pulsating current, which allows to use them while bench testing the hydraulic transmission with electric drive and load.

Purpose

Improvement of the technology of plant post-repairs hydraulic tests in order to reduce electricity consumption while testing.

Methodology

There was proposed an energy efficiency method for diesel locomotive hydraulic transmission testing in locomotive repair plant environment.

Base material. The plant uses a typical stand for testing. It consists of the frame on which there is installed the hydraulic transmission, DC electric drive, DC generator for power take-off, remote control. For generator loading the water rheostat is used.

Block diagram of the stand is shown in Fig. 1.

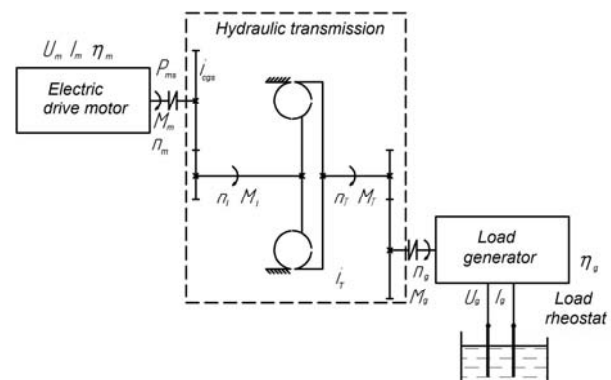


Fig. 1. Block diagram of the diesel locomotive hydraulic transmission run-in test stand

The stand input parameters are voltage U_m and armature current I_m , excitation winding tension $U_{m,e}$ of the drive motor. The hydraulic transmission input parameters are the rotary speed n_m and the moment M_m on the electric drive motor shaft that corresponds to the rotary speed n_i and the moment M_i of the impeller. The hydraulic transmission output parameters are the rotary speed n_i and the moment M_i of the impeller that corresponds to the rotary speed n_g and the moment M_g of the load generator armature. To create a moment of resistance during hydraulic transmission testing the water load rheostat is used; the power consumed by rheostat is defined as $P_g = I_g U_g$.

The stand monitors the following parameters:

- the rotary speed of the electric drive motor n_m and the load generator n_g ;

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- the armature current I_m and voltage U_m and excitation winding U_{m_e} of the drive motor and the load generator U_{g_e} ;
- oil temperature at the inlet and outlet of the hydraulic transmission;
- pressure in lubrication system;
- pressure of the hydraulic transmission feed pump.

Hydraulic transmission of type UGP 750-1 200 is designed for joint operation with diesel engine which develops power from 550 ... 880 kW. It is not possible to check hydraulic transmission operation in full load range at the existing stand, as the drive motor rated power is 270 kW. Besides, the moment characteristics of the motor do not match with those of the hydraulic transmission that does not allow using full engine capacity. That is why the post-overall bench tests of the hydraulic transmission are carried out in a limited range of loads.

To improve the hydraulic transmission test stand there are the following options of modernization [5, 11].

Replacing of the electric drive motor with diesel engine. Installation of diesel significantly complicates the design and dimensions of the stand. Besides, consideration must be given to the fact that when placing the diesel stand within the workshop the noise and exhaust emissions, which occur during the diesel engine operation, will adversely affect the employees. Given the high cost of diesel fuel and other disadvantages, this method is not rational.

Installing the drive motor, which has diesel relevant nominal capacity, will require more powerful motor control system. Along with the cost of the electric motor, this option would require significant capital investments.

One option for modernization is to install the additional electric motor on the stand for more power to the hydraulic transmission input shaft drive. This option has its advantages if the additional electric motor is powered by the stand load generator.

In terms of energy savings spent on drive motor power, the rational option (Fig. 2) is energy returning from the generator to the electric drive motor. To do this, the power converter is switched on instead of the water rheostat in order to regulate the output voltage of the generator according to the operation mode of the drive motor.

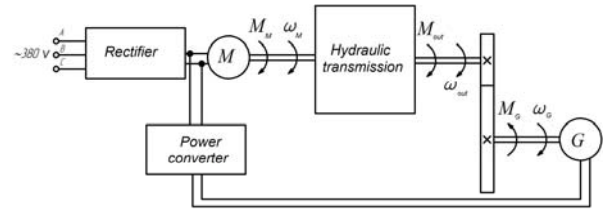


Fig. 2. Modernization option with installation of additional power converter

Since the load generator power depends on the test mode, it is necessary to use a complex system of energy transformation that will provide the opportunity to supply power to additional motor.

Let's consider in more detail the option of installation of additional electric motor for more power on the hydraulic transmission input shaft.

Block diagram of the updated stand for testing hydraulic transmission is shown in Fig. 3. The motor M and the generator G are electric machines designed for loading hydraulic transmission. The motor M is connected to the hydraulic transmission input shaft directly, and the generator G – to the hydraulic transmission output shaft through reduction gear with angular velocity transmission ratio k_2 .

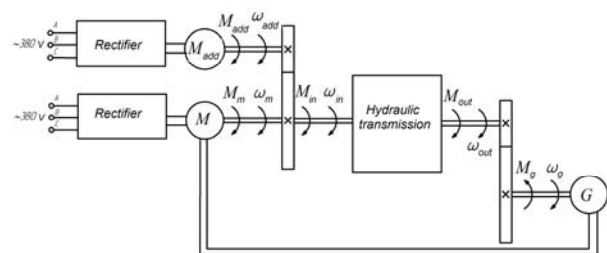


Fig. 3. Modernization option with installation of additional electric drive motor

Additional drive motor M_{add} , designed to cover all losses in the mutual load stand, is connected to the hydraulic transmission input shaft through reduction gear with angular velocity transmission ratio k_1 .

The electrical circuit of the test stand is shown in Figure 4. The armatures of the electric motor M and the generator G are connected electrically, forming a loop. The excitation winding of the motor M and the generator G are powered by

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

separate voltage sources, VS1 and VS2 respectively.

The armatures of the additional drive motor M_{add} is connected to the power source VS3, and its excitation winding to the voltage source VS4.

The rotary speed of hydraulic transmission input shaft is regulated by changing the armature voltage and excitation current of the additional drive motor M_{add} (VS3, VS4).

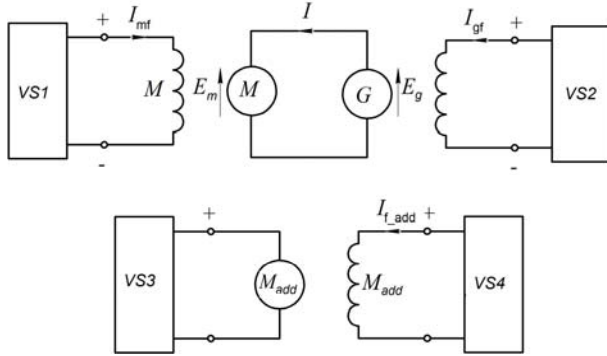


Fig. 4. Electric circuit of a stand

Adjusting the hydraulic transmission load moment is performed by changing the current I in the circuit of the motor M and the generator G .

Voltage stabilization at the armature M_{add} stabilizes the angular velocity ω_{in} of hydraulic transmission input shaft. We assume that one of the conditions of hydraulic transmission testing is as follows

$$\omega_{in} = const. \quad (1)$$

The second condition, ensuring relative stability of the hydraulic transmission load moment, is armature current consistency M and G

$$I = const. \quad (2)$$

Voltage balance [4] in the main electrical circuit ($M - G$) has the form

$$E_g - E_m = I \cdot \sum R, \quad (3)$$

where E_g , E_m – emf of generator and engine, respectively; $\sum R$ – total ohmic resistance of the main electric circuit.

$$E_g = c \cdot \Phi_g \cdot \omega_g; \quad (4)$$

$$E_m = c \cdot \Phi_m \cdot \omega_m, \quad (5)$$

where c – constant component, depending on the design of the same type of electric motor M and generator G ; Φ_g , Φ_m – magnetic flows of generator and motor, respectively; ω_g , ω_m – angular velocity of generator and motor, respectively.

Angular velocity ω_g , ω_m are related in the form

$$\omega_g = k_{htr} \cdot K_2 \cdot \omega_m, \quad (6)$$

where k_{htr} and k_2 – angular velocity transfer ratios of hydraulic transmission and reduction gear, respectively.

For normal mutual load of identical electric machines M and G it is preferably to ensure the following conditions

$$k_{htr} = \frac{1}{k_{htr \text{ av}}}, \quad (7)$$

where $k_{htr \text{ av}}$ – average value of adjustable transfer ratio k_{htr} .

Balance of mechanical moments can be represented as

$$M_m + \frac{1}{k_1} \cdot M_{add} = M_g \cdot k_{htr} \cdot k_2 + \Delta M_{htr}, \quad (8)$$

where M_m , M_g – shaft moment of motor and generator; ΔM_{htr} – hydraulic transmission moment losses, before the input shaft.

Shaft moment of the additional motor is required to compensate for all the losses in the test stand

$$M_{add} = k_1 [M_g \cdot k_{htr} \cdot k_2 + \Delta M_{htr} - M_{\text{л}}]. \quad (9)$$

$$M_g = c \cdot \Phi_g \cdot I + \Delta M_g; \quad (10)$$

$$M_m = c \cdot \Phi_m \cdot I - \Delta M_m, \quad (11)$$

where ΔM_g and ΔM_m – moment losses caused by no-load losses in generator and motor, respectively.

Then the expression for M_{add} takes the form

$$M_{add} = k_1 [c \cdot I (\Phi_g \cdot k_{htr} \cdot k_2 - \Phi_m) + \Delta M_{htr} + \Delta M_g \cdot k_{htr} \cdot k_2 + \Delta M_m]. \quad (12)$$

Current in the main circuit

$$I = \frac{c[\Phi_g \cdot k_{htr} \cdot k_2 - \Phi_m] \omega_m}{\sum R}. \quad (13)$$

Adjustment of the current and therefore the load moment of the tested hydraulic transmission can be performed by changing the magnetic flows of motor M and generator G . For a given value of current and angular velocity ratio the magnetic flow ratio is as follows

$$\Phi_g \cdot k_{htr} \cdot k_2 - \Phi_m = \frac{I \cdot \sum R}{c \cdot \omega_m}. \quad (14)$$

Then the expression for M_{add} takes the form:

$$M_{add} = k_1 \left[\frac{I^2 \cdot \sum R}{\omega_m} + \Delta M_{htr} + \Delta M_g \cdot k_{htr} \cdot k_2 + \Delta M_m \right]. \quad (15)$$

Multiplying both parts of this expression by ω_m/k_1 , we get the power balance equation in the form

$$P_{add} = \sum \Delta P_e + \Delta P_{htr} + \Delta P_{nl g} \cdot k_{htr} \cdot k_2 + \Delta P_{nl m}, \quad (16)$$

where P_{add} – power of additional motor; $\sum \Delta P_e$ – total electrical losses in motor and generator; ΔP_{htr} – power losses in hydraulic transmission; $\Delta P_{nl g}$, $\Delta P_{nl m}$ – no-load losses in generator and motor, respectively.

Thus, an additional motor M_{add} cover all the losses in the test stand.

The power losses in the hydraulic transmission

$$\Delta P_{htr} = \Delta M_{htr} \cdot \omega_{in} = M_{in} \cdot \omega_m (1 - \eta_{htr}), \quad (17)$$

where M_{in} and ω_{in} – moment and angular velocity at the hydraulic transmission input; η_{htr} – hydraulic transmission efficiency.

$$M_{in} = M_m + \frac{1}{k_1} M_{add}. \quad (18)$$

Findings

Based on the conducted analysis the necessity of improving the plant stand testing of hydraulic transmission was proved. The variants of the stand modernization were examined. The test stand modernization analysis was conducted.

Originality and practical value

The possibility of using electric power load generator to power the stand electric drive motor was theoretically substantiated. A variant of hydraulic transmission test stand based on the mutual load method was proposed.

Conclusions

The connection circuit of the testing station electrical machinery was theoretically justified and practically refined, the test procedure was improved that enables full-range testing of hydraulic transmission with minimal losses of electrical power and existing restrictions thereof.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Афанасов, А. М. Визначення раціональних режимів взаємного навантаження тягових двигунів електрорухомого складу магістрального та промислового транспорту / А. М. Афанасов // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2014. – № 4 (52). – С. 67–74. doi: 10.15802/stp2014/27322.
2. Афанасов, А. М. Регулювання небалансного електромагнітного моменту в системах взаємного навантаження електричних машин тягового та моторвагонного рухомого складу магістрального та промислового транспорту / А. М. Афанасов // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2014. – № 6 (54). – С. 70–77. doi: 10.15802/stp2014/32965.
3. Афанасов, А. М. Розвиток наукових основ вдосконалення енергоефективних методів випробування тягових електричних машин постійного та пульсуючого струму : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.09, 05.22.12 / Афанасов Андрій Михайлович ; Дніпропетр. нац. ун-т. заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – 36 с.
4. Афанасов, А. М. Системы взаимного нагружения тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока : монография /

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- А. М. Афанасов. – Днепропетровск : Маковецкий, 2012. – 248 с.
5. Боднар, Б. Є. Підвищення енергоефективності випробування гідравлічних передач тепловозів / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, Р. О. Коренюк // Науково-технічний прогрес на транспорті : тези Всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених, магістрантів та студентів : секція «Механіка» / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – С. 60–61.
 6. Боднар, Б. Е. Теоретические основы, опыт создания систем испытания и диагностирования тепловозов с гидродинамической передачей : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.07 / Боднар Борис Евгеньевич ; Днепропетр. гос. техн. ун-т ж.-д. трансп. – Днепропетровск, 1996. – 375 с.
 7. Исследования движения валов гидропередачи при свободном вращении / Б. Е. Боднар, М. И. Капица, Т. Ф. Кузнецов, В. М. Ляшук // Пути повышения надежности и экономичности тепловозов : межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск, 1987. – Вып. 256/10. – С. 56–61.
 8. Капица, М. И. Определение величины тепловых потерь при испытании тепловозной гидродинамической передачи в режиме «выбега» / М. И. Капица, В. П. Минчук, Р. А. Коренюк // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2013. – Вип. 18. – С. 13–16.
 9. Ляшук, В. М. Информационно – диагностическая система испытаний тепловозов с гидродинамической передачей на базе микро-ЭВМ / В. М. Ляшук // Пути повышения надежности и экономичности тепловозов : межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетр. ин-т инженеров трансп. – Днепропетровск, 1987. – Вып. 256/10. – С. 44–52.
 10. Овчинников, В. М. Гидравлические передачи тепловозов : учеб. пособие / В. М. Овчинников, В. А. Халиманчик, В. В. Невзоров. – Гомель : БелГУТ, 2006. – 155 с.
 11. Очкасов, О. Б. Удосконалення випробування гідравлічних передач тепловозів / О. Б. Очкасов, Р. О. Коренюк, О. С. Парфьонов // Науково-технічний прогрес на транспорті : тези Всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених, магістрантів та студентів : секція «Механіка» / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 74–75.
 12. Удосконалення стенду випробування гідравлічних передач тепловозів / Б. Є. Боднар, В. П. Минчук, О. Б. Очкасов, Р. О. Коренюк // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : тези 75 Міжнар. наук.-практ. конф. : секція «Експлуатація та ремонт локомотивів» / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – С. 23–24.
 13. Discrete-Time Neural Sliding-Mode Block Control for a DC Motor With Controlled Flux / C. E. Castaneda, A. G. Loukianov, E. N. Sanchez, B. Castillo-Toledo // IEEE Transactions. Industrial Electronics. – 2012. – Vol. 59. – Iss. 2. – P. 1194–1207. doi: 10.1109/tie.2011.2161246.
 14. Hayek, J. El. Experiences with a traction drive laboratory model / J. El Hayek, T. J. Sobczyk, G. Skarpetowski // Electromotion. – 2010. – Vol. 17. – Iss. 1. – P. 30–36.
 15. Liu, Y. Developments in Switching Mode Supply Technologies / Y. Liu, W. Eberle // IEEE Canadian Review. Switching Mode Power Supplies. Fall. – 2009. – № 61. – P. 9–14.

Б. Є. БОДНАР¹, М. І. КАПИЦА², О. Б. ОЧКАСОВ^{3*}, Р. О. КОРЕНЮК^{4*}

¹Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 01, ел. пошта bodnar@nz.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

²Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, ел. пошта m.i.kapitsa@ua.fm, ORCID 0000-0002-3800-2920

^{3*}Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, ел. пошта oalexander@mail.ru, ORCID 0000-0002-7719-7214

^{4*}Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, ел. пошта koroman@ua.fm, ORCID 0000-0003-1416-4770

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИПРОБУВАНЬ ГІДРАВЛІЧНИХ ПЕРЕДАЧ ТЕПЛОВОЗІВ В УМОВАХ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ЗАВОДУ

Мета. В складних економічних умовах скорочення витрат електроенергії, що споживається на потреби виробництва, є актуальним завданням для промислових підприємств країни. Технічними умовами підприємствам, що ремонтують гідравлічні передачі тепловозів, рекомендується проведення певного обсягу оціночних та регулювальних випробувань із метою контролю їх післяремонтного стану. Як показує практика, значна частина дефектів гідравлічних передач виявляється під час стендових випробувань. До переваг стендових випробувань можна також віднести: можливість виявлення післяремонтних дефектів, зручність обслуговування гідравлічної передачі та відносно невелика трудомісткість усунення дефектів. Від якості проведення цих випробувань залежить ресурс передачі та її коефіцієнт корисної дії. Робота спрямована на удосконалення технології заводських післяремонтних випробувань гідропередач із метою зменшення витрат електричної енергії, що споживається на проведення випробувань. **Методика.** Проведено аналіз можливих варіантів удосконалення стенду випробувань гідравлічних передач. Запропонована методика підвищення енергоефективності випробувань гідравлічних передач тепловозів в умовах локомотиворемонтного заводу. Це досягається шляхом встановлення додаткового приводного електродвигуна, який отримує живлення від навантажувального генератора. **Результати.** На підставі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність удосконалення заводських стендових випробувань гідравлічних передач. Розглянуто варіанти модернізації стенду. Проведено аналіз модернізації випробувального стенду. **Наукова новизна.** Авторами теоретично обґрунтована можливість використання електричної енергії навантажувального генератора для живлення приводного електродвигуна стенду або додаткового приводного електродвигуна. **Практична значимість.** За результатами досліджень запропоновано варіант конструкції стенду випробувань гідравлічної передачі, який базується на методі взаємного навантаження. Використання цього методу підвищує діапазон навантажень гідравлічної передачі, а споживання електричної енергії стендом залишається без змін. Додатковий приводний електродвигун сприятиме підвищенню частоти обертання вхідного валу, що, в свою чергу, дозволить проводити випробування в умовах, більш наближених до реальних внаслідок збільшення навантаження на гідравлічну передачу. Збільшення навантаження на гідравлічну передачу сприятиме виявленню можливих дефектів, що, в свою чергу, підвищить якість ремонту передачі.

Ключові слова: гідравлічна передача; випробування гідропередач; випробувальний стенд; приводний двигун; навантажувальний генератор; додатковий двигун

Б. Е. БОДНАРЬ¹, М. И. КАПИЦА², А. Б. ОЧКАСОВ^{3*}, Р. А. КОРЕНЮК^{4*}

¹Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, tel. +38 (056) 793 19 01, эл. почта bodnar@nz.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

²Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, эл. почта m.i.kapitsa@ua.fm, ORCID 0000-0002-3800-2920

^{3*}Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, эл. почта oalexander@mail.ru, ORCID 0000-0002-7719-7214

^{4*}Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 733 19 61, эл. почта Kogotap@ua.fm, ORCID 0000-0003-1416-4770

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПЫТАНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ ТЕПЛОВЗОВ В УСЛОВИЯХ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ЗАВОДА

Цель. В сложных экономических условиях сокращение расходов электроэнергии, потребляемой на нужды производства, является актуальной задачей для промышленных предприятий страны. Техническими условиями предприятия, которые ремонтируют гидравлические передачи тепловозов, рекомендуется проведение определенного объема оценочных и регулирующих испытаний с целью контроля их послеремонтного состояния. Как показывает практика, значительная часть дефектов гидравлических передач выявляется при стендовых испытаниях. К преимуществам стендовых испытаний можно отнести: возможность обнаружения послеремонтных дефектов, удобство обслуживания гидравлической передачи и относительно небольшая трудоемкость устранения дефектов. От качества проведения этих испытаний зависит ресурс передачи и ее коэффициент полезного действия. Цель работы – усовершенствование технологии заводских послеремонтных испытаний гидропередач с целью уменьшения расхода электрической энергии, потребляемой на проведение испытаний. **Методика.** Проведен анализ возможных вариантов усовершенствования стенда испытаний гидравлических передач. Предложена методика повышения энергоэффективности испытаний гидравлических передач тепловозов в условиях локомотиворемонтного завода. Это достигается путем установки дополнительного приводного электродвигателя, который получает питание от нагрузочного генератора. **Результаты.** На основании проведенного анализа обоснована необходимость совершенствования заводских стендовых испытаний гидравлических передач. Рассмотрены варианты модернизации стенда. Проведен анализ модернизации испытательного стенда. **Научная новизна.** Авторами теоретически обоснована возможность использования электрической энергии нагрузочного генератора для питания приводного электродвигателя стенда или дополнительного приводного электродвигателя. **Практическая значимость.** По результатам исследований предложен вариант конструкции стенда испытаний гидравлической передачи, основанный на методе взаимной нагрузки. Использование этого метода повышает диапазон нагрузок гидравлической передачи, а потребление электроэнергии стендом остается без изменений. Дополнительный приводной электродвигатель будет способствовать повышению частоты вращения входного вала, что в свою очередь, позволит проводить испытания в условиях, более приближенных к реальным вследствие увеличения нагрузки на гидравлическую передачу. Увеличение нагрузки на гидравлическую передачу будет способствовать выявлению возможных дефектов, что, в свою очередь, повысит качество ремонта передачи.

Ключевые слова: гидравлическая передача; испытания гидропередач; испытательный стенд; приводной двигатель; нагрузочный генератор; дополнительный двигатель

REFERENCES

1. Afanasov A.M. Vyznachennia ratsionalnykh rezhymiv vzaiemnoho navantazhennia tiahovykh dvyhuniv elektrukhomoho skladu mahistralnoho ta promyslovoho transportu [Rational modes determination of traction motors loading-back for electric rolling stock in mainline and industrial transport]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 4 (52), pp. 67-74. doi: 10.15802/stp2014/27322.
2. Afanasov A.M. Rehuliuvannia nebalansnoho elektromahnitnoho momentu v systemakh vzaiemnoho navantazhennia elektrychnykh mashyn tiahovoho ta motorvahonnoho rukhomoho skladu mahistralnoho ta promyslovoho transportu [Regulation of unbalanced electromagnetic moment in mutual loading systems of electric machines of traction rolling stock and multiple unit of mainline and industrial transport]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 6 (54), pp. 70-77. doi: 10.15802/stp2014/32965.
3. Afanasov A.M. Rozvytok naukovykh osnov vdoskonalennia enerhoefektyvnykh metodiv vyprovuvannia tiahovykh elektrychnykh mashyn postiinoho ta pulsuiuchoho strumu. Avtoreferat Diss. [Scientific foundations development of energy efficiency test methods improvement of traction electric machines of direct and pulsating current. Author's abstract]. Dnipropetrovsk, 2013. 36 p.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

4. Afanasov A.M. *Sistemy vzaimnogo nagruzheniya tyagovykh elektricheskikh mashin postoyannogo i pulsiruyushchego toka* [Mutual loading systems of traction electric machines of direct and pulsating current]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2012. 248 p.
5. Bodnar B.Ye., Ochkasov O.B., Koreniuk R.O. Pidvyshchennia enerhoefektyvnosti vyprobuvannia hidravlichnykh peredach teplovoziv [Test energy efficiency increase of hydraulic transmission locomotive]. *Tezy Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh vchenykh, mahistrantiv ta studentiv: sektsiia «Mekhanika», «Naukovo-tekhnichnyi prohres na transporti»* [Theses of All-Ukrainian scientific and technical Conf. of young scientists and graduate students: section «Mechanics», «Scientific and Technological Progress on Transport»]. Dnipropetrovsk, 2015, pp. 60-61.
6. Bodnar B.Ye. *Teoreticheskiye osnovy, opyt sozdaniya sistem ispytaniya i diagnostirovaniya teplovozov s gidrodinamicheskoy peredachey*. Dokt. Diss. [Theoretical foundations, experience of test and diagnostics systems creation of locomotives with hydrodynamic transmission. Doct. Diss.]. Dnepropetrovsk, 1996. 375 p.
7. Bodnar B.Ye., Kapitsa M.I., Kuznetsov T.F., Lyashuk V.M. Issledovaniya dvizheniya valov gidroperedachi pri svobodnom vrashchenii [Motion studies of hydraulic transmission shafts at free rotation]. *Puti povysheniya nadezhnosti i ekonomichnosti teplovozov: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Ways to improve the reliability and efficiency of locomotives: Interacademic Proc.]. Dnipropetrovsk, 1987, issue 256/10, pp. 56-61.
8. Kapitsa M.I., Minchuk V.P., Korenyuk R.A. Opredeleniye velichiny teplovykh poter pri ispytanii teplovoznoy gidrodinamicheskoy peredachi v rezhime «vybega» [Determination of heat losses at the diesel hydrodynamic transmission test in the «runaway» regime]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia* [Bulletin of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University], 2013, issue 18, pp. 13-16.
9. Lyashuk V.M. Informatsionno – diagnosticheskaya sistema ispytaniya teplovozov s gidrodinamicheskoy peredachey na baze mikro–EVM [Information and diagnostic tests system of locomotives with hydrodynamic transmission on the base of micro-computer]. *Puti povysheniya nadezhnosti i ekonomichnosti teplovozov: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Ways to improve the reliability and efficiency of locomotives: Interacademic Proc.]. Dnepropetrovsk, 1987, issue 256/10, pp. 44-52.
10. Ovchinnikov V.M., Khalimanchik V.A., Nevzorov V.V. *Gidravlicheskiye peredachi teplovozov* [Hydraulic transmissions of locomotives]. Gomel, BelGUT Publ., 2006. 155 p.
11. Ochkasov O.B., Koreniuk R.O., Parfonov O.S. Udoshkonalennia vyprobuvannia hidravlichnykh peredach teplovoziv [Testing hydraulic transmission improvement of locomotives]. *Tezy Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh vchenykh, mahistrantiv ta studentiv: sektsiia «Mekhanika», «Naukovo-tekhnichnyi prohres na transporti»* [Theses of All-Ukrainian scientific and technical Conf. of young scientists and graduate students: section «Mechanics», «Scientific and technological progress on Transport»]. Dnipropetrovsk, 2014, pp. 74-75.
12. Bodnar B.Ye., Minchuk V.P., Ochkasov O.B., Koreniuk R.O. Udoshkonalennia stendu vyprobuvannia hidravlichnykh peredach teplovoziv [Test stand improvement of hydraulic transmission in locomotives]. *Tezy 75 Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii: sektsiia «Ekspluatatsiia ta remont lokomotyviv», «Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu»* [Proc. of 75th Intern. Sci. And Practical Conf.: section «Maintenance and repair of locomotives», «Problems and Prospects of Railway Transport Development»]. Dnipropetrovsk, 2015, pp. 23-24.
13. Castaneda C.E., Loukianov A.G., Sanchez E.N., Castillo-Toledo B. Discrete-Time Neural Sliding-Mode Block Control for a DC Motor With Controlled Flux. *IEEE Transactions. Industrial Electronics*, 2012, vol. 59, issue 2, pp. 1194-1207. doi: 10.1109/tie.2011.2161246.
14. Hayek J. El., Sobczyk T.J., G. Skarpetowski. Experiences with traction drive laboratory model. *Electromotion*, 2010, vol. 17, issue 1, pp. 30-36.
15. Liu Y., Eberle W. Developments in Switching Mode Supply Technologies. *IEEE Canadian Review. Switching Mode Power Supplies. Fall*, 2009, no. 61, pp. 9-14.

Prof. A. M. Mukha, D. Sc. (Tech.) (Ukraine); Prof. O. S. Krashenin, D. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: Aug. 14, 2015

Received: Oct. 13, 2015

UDC 656.212.5(23.01):004.942

E. B. DEMCHENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Stations and Junctions», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (097) 799 16 75, e-mail eugene_demchenko@mail.ru, ORCID 0000-0003-1411-6744

COMPLEX SIMULATION MODEL OF TRAIN BREAKING-UP PROCESS AT THE HUMPS

Purpose. One of the priorities of station sorting complex functioning improvement is the breaking-up process energy consumptions reduction, namely: fuel consumption for train pushing and electric energy consumption for cut braking. In this regard, an effective solution of the problem of energy consumption reduction at breaking-up subsystem requires a comprehensive handling of train pushing and cut rolling down processes. At the same time, the analysis showed that the current task of pushing process improvement and cut rolling down effectiveness increase are solved separately. To solve this problem it is necessary to develop the complex simulation model of train breaking-up process at humps. **Methodology.** Pushing process simulation was done based on adapted under the shunting conditions traction calculations. In addition, the features of shunting locomotives work at the humps were taken into account. In order to realize the current pushing mode the special algorithm of hump locomotive controlling, which along with the safety shunting operation requirements takes into account behavioral factors associated with engineer control actions was applied. This algorithm provides train smooth acceleration and further movement with speed, which is close to the set speed. Hump locomotive fuel consumptions were determined based on the amount of mechanical work performed by locomotive traction. **Findings.** The simulation model of train pushing process was developed and combined with existing cut rolling down model. Cut initial velocity is determined during simulation process. The obtained initial velocity is used for further cut rolling process modeling. In addition, the modeling resulted in sufficiently accurate determination of the fuel rates consumed for train breaking-up. **Originality.** The simulation model of train breaking-up process at the humps, which in contrast to the existing models allows reproducing complexly all the elements of this process in detail and evaluate accurately its quality, was improved by the author. **Practical value.** The developed model can help to determine a rational processing mode of sorting complex. For this purpose, it is appropriate to include the model into the decision support system of dispatching station staff.

Keywords: train pushing and breaking-up process; hump; hump locomotive; fuel consumption

Introduction

In modern conditions one of the priorities of station sorting complex functioning improvement is the breaking-up process energy consumptions reduction.

Energy costs, which take place during the train breaking-up at humps, consist of fuel consumption for train pushing and electric energy consumption for cut braking. In this regard, an effective solution of the problem of energy consumption reduction at breaking-up subsystem requires a comprehensive handling of train pushing and cut rolling down processes. At the same time, the analysis [6] showed that the current task of pushing process improvement and cut rolling down effectiveness increase are solved separately.

Thus, the existing pushing models [13, 17] only simulate the process of shunting train movement;

while the movement of some cuts is modelled before their uncoupling at the hump apex (HA) without their further rolling. As a result, these models do not allow assessing the impact of the selected breaking-up mode of a train on the conditions of interval and target braking of its cuts. In addition, the existing pushing models are based on traction calculations for train operation [16], which do not include features of shunting at the humps and do not allow with sufficient accuracy to determine the pushing and breaking-up process fuel consumption.

At the same time, both when optimizing the cut braking modes with the help of the method [4, 14, 19], and when imitating their rolling down with the help of the models [9, 21, 22] we take the constant breaking-up velocity v_0 , the value of which is the same for each cut. This approach does not correspond to the real conditions of train humping and

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

does not allow determining with sufficient accuracy the rational cut braking mode and calculating the sorting process quality coefficients.

Purpose

The purpose of this work is to develop a complex simulation model of train breaking-up process at humps that will allow elaboration of the method for resource saving controlling of train pushing and breaking-up, aimed at high quality of sorting process with minimum energy consumption for its implementation

Methodology

To achieve the set purpose, the train humping model was developed and combined with the existing cut rolling model [4], resulting in the complex simulation model of train breaking-up process.

In the developed model the train pushed to the hump is assumed as a set of cuts with certain parameters (number of cars, their type, length, mass and basic specific movement resistance) and as non-extendible flexible rod with uniform longwise weight. This train model allows the best consideration of its movement conditions when transferring from one profile element to another and after further cut breaking-up.

To solve the problem of pushing and breaking-up modelling it is sufficient to consider the controlled forward movement of a shunting train, so during its simulation process it is necessary to take into account only external forces that coincide with the movement direction or are opposite to it. Accordingly, the following forces were taken into account: F_t – tangent locomotive power; W_r – train motion resistance force; B_b – locomotive braking force. In the shunting train motion equation the relevant specific forces are considered f_t , w_r , b_b ; the total force f_{tl} depends on the hump locomotive operation mode and equals $f_{tl} = f_t \pm w_r$ in traction mode, $f_{tl} = \pm w_r$ – in rundown mode and $f_{tl} = \pm w_r - b_b$ – in idling mode.

The work [3] developed the method of calculating the forces acting on the shunting train during pushing and breaking-up. Thus, the tangent locomotive power f_t in the model is determined by partial (intermediate) traction characteristics that

can be realized in terms of grip, and then by the following intermediate characteristics until reaching the automatic (external) characteristics [12].

Specific movement resistance force w_r is determined as

$$w_r = w'_0 + w''_0 + w_{ew} + w_{sc} + w_g + w_{st}, \quad (1)$$

where w'_r – locomotive basic specific motion resistance; w''_r – car basic specific motion resistance; w_{ew} – additional specific resistance due to environment and wind; w_{sc} – additional specific resistance due to switches and curves; w_g – additional specific resistance due to track gradient; w_{st} – additional specific resistance due to starting.

The locomotive basic specific motion resistance w'_r and additional specific resistance due to starting w_{st} are determined by method [16]. The car basic specific motion resistance w''_r is calculated as a weighted average of the cut basic specific motion resistance and is adjusted after further cut breaking-up; herewith the value w''_{ri} for each car is included in the train model structure. Additional motion resistance values due to environment and wind w_{ew} , points and curves w_{pc} are calculated by the method [15].

Additional specific resistance due to track gradient w_g is taken numerically equal to the average gradient i , where the shunting train is located; while for pushing simulation in the longitudinal profile model the gradient value i on the rise is positive ($i > 0$) and on the descent – negative ($i < 0$). Average gradient i , where there is a train, when its first axis is at the point S_j , is determined by the difference in marks of the first $h(S_j)$ and the last $h(S_j - l_t)$ train axes:

$$i(S_j) = \frac{h(S_j) - h(S_j - l_t)}{l_t}, \quad (2)$$

where l_t – shunting train length, m.

Due to the fact that in the breaking-up process at hump the train automatic brakes do not as a rule actuate its velocity is reduced only by shunting locomotive braking force, the specific value of

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

which b_b is calculated by the following formula [16]:

$$b_b = 1000 \theta_d \varphi_{df}, \quad (3)$$

where θ_d – design braking factor; φ_{df} – brake pad friction design factor.

The values θ_d and φ_{df} are determined by the method [7] based on the number of locomotive axles and in case of brake actuation in the train – on the number of car axles, where the automatic brakes are actuated, as well. It should be noted that the braking force b_b from the brake position valve switch moment gradually increases to its maximum value. In addition, the shunting train braking modelling should take into account the time required for the driver's reaction. In this regard, the design braking factor θ_d in (3) is considered as the braking duration function t_{br} , the value of which is accepted in accordance with [7].

The peculiarity of the train breaking-up process modelling is the change of its settings at cut uncoupling. In this regard, during the train movement simulation one must control the possible next cut uncoupling at every step Δt . After recording the cut uncoupling the model performs the appropriate train length and weight reduction; herewith it changes the coordinate of its first axis S_j and re-calculates the basic specific resistance w_r'' . This, in turn, causes corresponding changes in the hump locomotive operation mode aimed at maintaining the set breaking-up velocity v_0 .

Train motion in the model is described by second order differential equation $S'' = f(t, S, S')$ in which the independent variable is the time t :

$$S'' = \frac{d^2 S}{dt^2} = \frac{g}{1+\gamma} f_{tl} 10^{-3}, \quad (4)$$

where $g/1+\gamma$ – accelerated gravity force with consideration of rotating mass inertia.

The motion equation (4) allows performing joint modelling of train breaking-up and cut rolling down processes.

It is known that equation (4) has a unique solution if his right part $f(S, V)$ is continuous and differentiated. However, the nature of force change f_{tl} in this equation does not always meet the

specified condition. Thus, in moments of controller position switching the tangent power f_t can change stepwise. The braking power b_b during train deceleration also changes unevenly. The motion resistance in curves is a step function, the discontinuities of which occur at curved track section enter and exit points by shunting train. In addition, at the time of the next cut uncoupling at HA the train parameters are changed. Therefore, the model assumed that within the integration step Δt the shunting train motion mode remains constant; to this end there is chosen sufficiently small step Δt ($\Delta t = 1$ sec). Controller position is not changed within the traction mode Δt ; while at the end of the step the train velocity is analysed and if necessary the locomotive operation mode is adjusted and the simulation is repeated.

Similarly, the braking force b_b at each step Δt is taken constant and if the train velocity at the end of the step became below the mark, then, depending on motion conditions, the transition to traction or idling mode is performed.

Besides, within the integration step Δt both ends of shunting train must not go beyond the beginning or the end of the curve. If at some step this condition is not met, then this step is divided into separate parts with a certain length $\Delta S_1, \Delta S_2, \dots, \Delta S_n$. Herewith, at the modelling steps $1 \dots (n-1)$ the train is moved using the first-order differential equation $V' = f(S, V)$ with independent variable S :

$$V' = \frac{dV}{dS} = \frac{g}{1+\gamma} \cdot \frac{f_{tl}}{V}, \quad V > 0 \quad (5)$$

At the last step n the train motion is simulated with the help of equation (4) by the time $\Delta t' = \Delta t - \Delta t^*$ that remained till the end of the initial step. The same algorithm is used for train motion simulation when the next cut is broken-up from it at HA.

To ensure the continuity of functions $i(S)$ and $f_{tl}(V)$ the model uses the method of spline approximation of track longitudinal profile [5] and locomotive traction characteristics. Integration of differential motion equations (4) and (5) are performed by the Runge-Kutta fourth-order method [1].

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

When modelling, the train to undergo breaking-up is considered as controlled system that operates in terms of internal and external factors, as well as control impacts [2]. Controlled movement of the train is determined by the hump locomotive operation mode. Herewith the major controllable parameters are tangent power F_t and braking force B_b of the shunting locomotive, depending on the actuated controller position n_c and the auxiliary brake valve position.

The simulation must provide such a hump locomotive control that allow the train velocity at the pushing completion time t_{pc} to be equal to the specified breaking-up velocity v_0 , and the subsequent phase trajectory $V(t)$ to meet for all $t_{pc} \leq t \leq t_e$ corresponded to the set breaking-up mode, where t_e is the traction motion end point. The initial time t_0 is assumed to be 0; the final time t_f is assumed as the last cut off-locomotive uncoupling time.

The work [3] developed the algorithm of hump locomotive controlling, which along with the safety shunting operation requirements takes into account behavioural factors associated with engineer control actions. This algorithm provides train smooth acceleration and further movement with speed, which is close to the set breaking-up velocity v_0 . Herewith the actual velocity v_a at every step Δt may deviate from the specified velocity v_0 by the realization error value δ . $v_a = [v_0 - \delta; v_0 + \delta]$.

The shunting train simulation results in determination of fuel consumption G by shunting locomotive during pushing and breaking-up processes. According to the research [8] the fuel consumption G for train breaking-up at humps should be determined based on the amount of mechanical work performed by locomotive traction R_{mj} :

$$G = \sum_{j=1}^n k_j R_{mj}, \quad (6)$$

where k_j – transition coefficient.

Mechanical traction work R_{mj} , t·km is determined as [11]:

$$R_{mj} = F_{tj} \Delta S_j, \quad (7)$$

where ΔS_j – train motion in step, km.

The transition coefficient k_j is a co-relation, expressed in kilograms of fuel consumed to perform 1 t·km of mechanical work by locomotive, and is determined as [10]:

$$k_j = \begin{cases} -0,00002v_j^2 - 0,0021v_j + 0,969 & \text{for TEM2,} \\ 0,00002v_j^2 - 0,0030v_j + 0,920 & \text{for ChME3.} \end{cases} \quad (8)$$

Thus, at each simulation step j the tangent power F_{tj} and average velocity v_j are determined. Then, using these values and the expressions (7) and (8) there are calculated, respectively, the performed mechanical work R_{mj} and transition coefficient k_j , based on which the fuel consumption G is determined by formula (6).

Findings

The developed train breaking-up model based on the shunting-adapted traction calculations allows the detailed simulation of hump locomotive operation mode and train motion process. This makes it possible to determine the initial velocity of each cut at its off-train uncoupling time at HA. The obtained initial velocity is used for further cut rolling process modeling. In addition, the modeling resulted in sufficiently accurate determination of the hump locomotive fuel consumption rates G , the value of which is necessary to determine the rational train breaking-up mode.

The developed model allows simulating various train breaking-up modes. For example, Fig. 1 shows the results of simulation of 3869 ton train breaking-up and pushing by TEM2 hump locomotive. Herewith the mode implied the train acceleration up to the set breaking-up velocity $v_0 = 1.7$ m/s, with the following breaking-up at a constant speed. As shown in Fig. 1, *a*, the locomotive control algorithm [3] provides smooth acceleration of the train and its further movement with the velocity v_a , close to set breaking-up velocity v_0 ($v_a \in [1.52; 1.74]$). It should be noted that at the final stage of breaking-up (Fig. 1, *a*, section B-C) when the train length does not exceed 10 cars, its motion mode changes abruptly. These changes are caused

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

by train weight reduction at the end of the breaking-up process, resulting in inflated intensity of acceleration even at the first controller positions.

In order to verify the model adequacy the experimental studies of sorting process at the Nizhnedneprovsk station even system were performed. Herewith for each breaking-up train the following items were recorded: cut parameters; the

duration of pushing and breaking-up operations and the dynamics of engineer controller switch during their performance; cut uncoupling time at the HA; hump locomotive fuel consumption (using «BIS-R» system). In addition, the data were obtained on the design of plan and longitudinal profile of receiving yard tracks and the hump of the station even system.

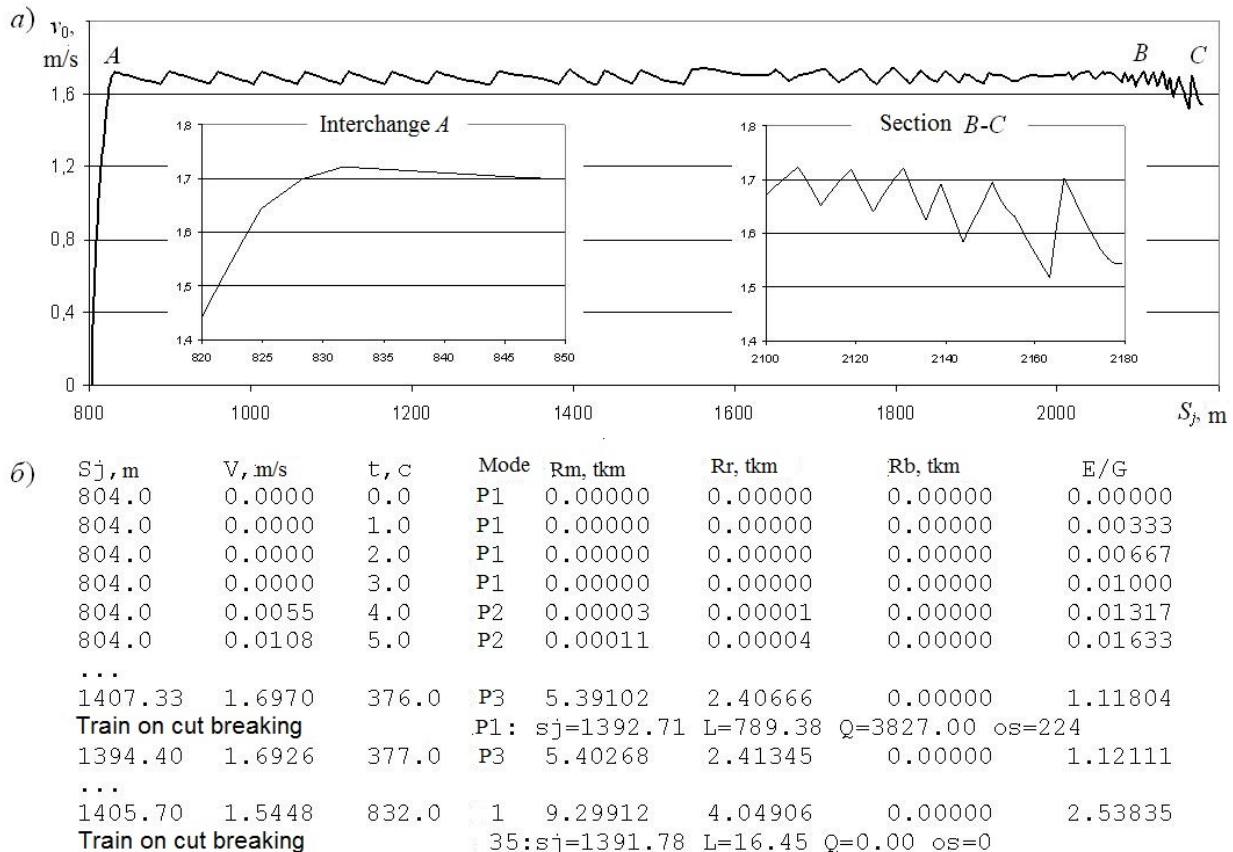


Fig. 1. The breaking-up and pushing process simulation results:

a – train speed diagram; b – simulation report

The above data combined with the developed model allowed simulation of 17 real train breaking-up processes.

In accordance with the existing methods of statistical analysis [18], the adequacy of the developed train breaking-up model is proved by homogeneity of sampled data derived from experimental studies and simulation.

The experimental research and simulation resulted in two fuel consumption random variable samples; wherein the above samples are dependent. To test the hypothesis of homogeneity of these samples Wilcoxon T -criterion [20] was used.

Checking by the specified criterion is performed as follows. It is assumed that $R(Z_i)$ is the rank $|Z_i|$ in the range from the smallest to the largest values of differences $|Z_1|, |Z_2|, \dots, |Z_n|$, where the value $|Z_i|$ is the difference of experimental research data x_i and simulation y_i ($Z_i = x_i - y_i$).

We define the counter variables $Q(Z_i)$ as:

$$Q(Z_i) = \begin{cases} 1, & \text{where } Z_i > 0, \\ 0, & \text{where } Z_i < 0. \end{cases} \quad (9)$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Statistics of T -criterion is as follows:

$$T^+ = \sum_{i=1}^n R(Z_j)Q(Z_j). \quad (10)$$

When fulfilling the null hypothesis the statistics of n observations

$$T^{++} = \frac{T^+ - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}} \quad (11)$$

has asymptotic standard normal distribution with expectation 0 and variance 1. Thus, the decision rule at the 5% significance level is as follows: if $|T^{++}| \leq 1,96$, then the dependent samples homogeneity hypothesis by Wilcoxon criterion is accepted, otherwise – is rejected.

According to the check the T -criterion statistics made: $T^+ = 67$; $T^{++} = -0,46$. Thus, the conducted statistical analysis of experimental results and simulation demonstrates the adequacy of the designed model train breaking-up process at hump.

Originality and practical value

The simulation model of train breaking-up process at the humps, which in contrast to the existing models allows reproducing complexly all the elements of this process in detail and evaluate accurately its quality, was improved.

The developed simulation model can be used as a decision support system to identify effective operation modes of sorting complexes.

Conclusions

1. The fact was established that the initial velocity of each cut at its off-train uncoupling time at the hump apex is a random variable whose value is different from the set breaking-up velocity v_0 . At the same time the cut initial velocity value significantly affects the regulating conditions of their velocity during rolling down from the hump. Therefore, the breaking-up modelling should consider the train pushing and cut rolling operations as interrelated processes that need joint simulation.

2. Detailed modelling of the shunting train movement and the hump locomotive operation mode is possible by performing traction calculations;

while the existing method of traction calculations needs adapting to the shunting work conditions.

3. Hump locomotive fuel consumptions for train breaking-up should be determined based on the amount of mechanical work performed by locomotive traction. This approach in contrast to existing methods allows determination of impact of breaking-up velocity, as well as of hump and train design parameters, on the amount of fuel consumption.

4. To ensure the specified humping mode the model uses the hump locomotive control algorithm that provides smooth train acceleration and its further motion at the velocity close to the set one. At the final breaking-up stage when the train length does not exceed 10 cars, the train motion velocity fluctuations are increasing sufficiently. These fluctuations are caused by train weight reduction at the end of the breaking-up process, resulting in inflated intensity of acceleration even at the first controller positions

5. The statistical analysis of experimental studies and simulation results, using Wilcoxon T -criterion, proved adequacy of the developed model of train breaking-up at the hump.

6. The developed train breaking-up model allows a comprehensive assessment of the sorting process quality that is needed to determine a rational processing mode of sorting complex. For this purpose, it is appropriate to include the model into the decision support system of dispatching station staff.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Бобровский, В. И. Дифференциальные уравнения движения отцепки и методы их решения / В. И. Бобровский // Информ.-управл. системы на ж.-д. трансп. – 1996. – № 6. – С. 34–39.
2. Бобровский, В. И. Имитационная модель развязки линий в железнодорожном узле / В. И. Бобровский // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізн. трансп. : міжвуз. зб. наук. пр. – Харків : ХарДАЗТ, 1999. – Вип. 38. – С. 35–42.
3. Бобровський, В. І. Моделювання процесу насування та розпуску составів на сортувальній гірці / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 4. – С. 13–19.
4. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов расчетной группы состава / В. И. Бобровский, А. С. Дорош // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 103–112. doi: 10.15802/stp2013/9582.
5. Бобровский, В. И. Представление продольного профиля сортировочных горок в АСУ расформированием составов / В. И. Бобровский // Информ.-управл. системы на ж.-д. трансп. – 1996. – № 1/2. – С. 19–25.
6. Бобровский, В. И. Совершенствование имитационной модели процесса надвига и роспуска составов на сортировочных горках / В. И. Бобровский, Е. Б. Демченко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 3. – С. 5–9.
7. Гребенюк, П. Т. Тяговые расчеты : справочник / П. Т. Гребенюк, А. Н. Додганов, А. И. Скворцова. – Москва : Транспорт, 1987. – 272 с.
8. Демченко, Е. Б. Оценка расхода топлива маневровыми тепловозами при расформировании составов на сортировочных горках / Е. Б. Демченко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 6. – С. 39–46.
9. Козаченко, Д. М. Моделювання роботи сортувальної гірки в умовах невизначеності параметрів відцепів та характеристик навколишнього середовища / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, О. І. Таранець // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 16. – С. 73–76.
10. Корженевич, И. П. Оценка расхода топлива или электроэнергии через механическую работу локомотива / И. П. Корженевич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 29. – С. 88–90.
11. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций. – Москва : ВПТИТ-РАНССТРОЙ, 1988. – 468 с.
12. Назаров, Л. С. Повышение эффективности маневровой работы / Л. С. Назаров, С. Л. Назаров // Ж.-д. трансп. – 2001. – № 8. – С. 56–57.
13. Огар, О. М. Науковий підхід до визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок / О. М. Огар // 36. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2009. – Вип. 18. – С. 9–16.
14. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках : монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. П. Божко [и др.]. – Днепропетровск : Маковецкий, 2010. – 260 с.
15. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР : ВСН 207-89. – Москва : Транспорт, 1992. – 104 с.
16. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – Москва : Транспорт, 1985. – 287 с.
17. Сокращение расхода дизельного топлива на маневрах / В. М. Овчинников, С. А. Пожидаев, Н. Г. Швеиц, В. В. Скреженевский // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 1. – С. 62–70.
18. Corder, G. W. Nonparametric Statistics for Non-Statisticians: A Step-by-Step Approach / G. W. Corder, D. I. Foreman. – New York : John Wiley & Sons Inc., 2009. – 264 p. doi: 10.1002/9781118165881.
19. Dorosh, A. S. Determination of braking optimal mode of controlled cut of design group / A. S. Dorosh // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 3 (57). – Р. 36–44. doi: 10.15802/stp2015-/46044.
20. Kerby, D. S. The simple difference formula: An approach to teaching nonparametric correlation / D. S. Kerby // Innovative Teaching. – 2014. – № 3. – Р. 1–9.
21. Shengjun, F. Research on Application of Braking Retarder Speed Control System / F. Shengjun // Retarders & Speed Control Technology. – 2012. – Iss. 4. – Р. 11–16.
22. Tian-ming, M. The Research of Hump Retarder Assistant Speed Control System / M. Tian-ming, Z. Lianxiang // Retarders & Speed Control Technology. – 2011. – Iss. 1. – Р. 1–7.

Є. Б. ДЕМЧЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
ім. академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (097) 799 16 75,
ел. пошта eugene_demchenko@mail.ru, ORCID 0000-0003-1411-6744

КОМПЛЕКСНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ

Мета. Одним із пріоритетних напрямків підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій є скорочення енергетичних витрат на розформування составів, а саме: витрат палива на їх насув та електроенергії на гальмування відцепів. У зв'язку з цим ефективне вирішення проблеми зниження енерговитрат у підсистемі розформування вимагає комплексного розгляду процесів насуву та розпуску составів. Проте, як показав аналіз, у теперішній час задачі удосконалення процесу насуву та підвищення ефективності процесу розпуску вирішуються окремо. Для вирішення вказаної проблеми в роботі необхідно розробити комплексну імітаційну модель розформування составів. **Методика.** Моделювання процесу насуву та розпуску составів виконувалося на основі адаптованих до умов маневрової роботи тягових розрахунків; при цьому були враховані особливості роботи маневрових тепловозів на сортувальній гірці. Для реалізації заданого режиму насуву було застосовано спеціальний алгоритм управління гірковим тепловозом, який, окрім вимог із безпечного виконання маневрової роботи та експлуатації локомотивів, враховує й біхевіоральні фактори, що пов'язані з керуючими діями машиніста. Даний алгоритм забезпечує плавний розгін та подальший рух составу з близькою до встановленої швидкістю. Витрати палива гірковим тепловозом визначались на основі величини виконаної механічної роботи сили тяги локомотива. **Результати.** Розроблено модель насуву составів, яку було об'єднано з існуючою моделлю скочування відцепів. У процесі моделювання визначається початкова швидкість відцепів у момент їх відриву від составу. Отримана початкова швидкість відцепів використовується для подальшого моделювання процесу їх скочування. У результаті моделювання з достатньою точністю визначаються витрати палива гірковим локомотивом на розформування составів. **Наукова новизна.** Автором удосконалена імітаційна модель процесу розформування составів на сортувальних гірках, що, на відміну від існуючих, дозволяє комплексно відтворювати всі елементи цього процесу та детально й достовірно оцінювати його якість. **Практична значимість.** За допомогою розробленої моделі можливо визначати раціональний режим функціонування сортувального комплексу. З цією метою вказану модель доцільно включити до складу системи підтримки прийняття рішень диспетчерського персоналу станції.

Ключові слова: насув та розпуск составів; сортувальна гірка; гірковий тепловоз; витрати палива

Е. Б. ДЕМЧЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
им. академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (097) 799 16 75,
эл. почта eugene_demchenko@mail.ru, ORCID 0000-0003-1411-6744

КОМПЛЕКСНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАСФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ

Цель. Одним из приоритетных направлений повышения эффективности функционирования сортировочных комплексов станций является сокращение энергетических затрат на расформирование составов, а именно: расхода топлива на их надвиг и электроэнергии на торможение отцепов. В связи с этим эффективное решение проблемы снижения энергозатрат в подсистеме расформирования требует комплексного рассмотрения процессов надвига и роспуска составов. Однако, как показал анализ, в настоящее время задачи совершенствования процесса надвига и повышения эффективности процесса роспуска решаются раздельно. Для решения указанной проблемы в работе необходимо разработать комплексную имитационную модель расформирования составов. **Методика.** Моделирование процесса надвига и роспуска составов выполнялось на основе адаптированных к условиям маневровой работы тяговых расчетов; при этом были учтены особенности работы маневровых тепловозов на сортировочной

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

горке. Для реализации заданного режима надвига был применен специальный алгоритм управления горочным тепловозом, который наряду с требованиями безопасности выполнения маневровой работы и эксплуатации локомотивов учитывает и бихевиоральные факторы, связанные с управляющими действиями машиниста. Данный алгоритм обеспечивает плавный разгон и дальнейшее движение состава с близкой к установленной скоростью. Расходы топлива горочным тепловозом определялись на основе величины выполненной механической работы силы тяги локомотива. **Результаты.** Разработана имитационная модель надвига составов, которая была объединена с существующей моделью скатывания отцепов. В процессе моделирования определяется начальная скорость отцепов в момент их отрыва от состава. Полученная начальная скорость отцепов используется для дальнейшего моделирования процесса их скатывания. В результате моделирования с достаточной точностью определяются расходы топлива горочным локомотивом на расформирование составов. **Научная новизна.** Автором усовершенствована имитационная модель процесса расформирования составов на сортировочных горках, которая в отличие от существующих, позволяет комплексно воспроизводить все элементы этого процесса и подробно и достоверно оценивать его качество. **Практическая значимость.** С помощью разработанной модели возможно определять рациональный режим функционирования сортировочного комплекса. С этой целью указанную модель целесообразно включить в состав системы поддержки принятия решений диспетчерского персонала станции.

Ключевые слова: надвиг и роспуск составов; сортировочная горка; горочный тепловоз; расход топлива

REFERENCES

1. Bobrovskiy V.I. Differentsialnyye uravneniya dvizheniya ottsepa i metody ikh resheniya [Differential equations of cut motion and their solutions]. *Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy na zheleznodorozhnom transporte – Information Management Systems on Railway Transport*, 1996, no. 6, pp. 34-39.
2. Bobrovskiy V.I. Imitatsionnaya model razvyazki liniy v zheleznodorozhnom uzle [Simulation model of lines interchange in a railway junction]. *Kontseptsiya pidvishchennya efektyvnosti vantazhnykh perevezen na zaliznychnomu transporti: Mizhvuzivskiy zbirnyk naukovykh prats* [The concept of increase of efficiency of freight transport at the railway transport: Interuniversity Proc.]. Kharkiv, KharDAZT Publ., 1999, issue 38, pp. 35-42.
3. Bobrovskiy V.I., Demchenko E.B. Modeliuvannya protsesu nasuvu ta rozpusku sostaviv na sortovalnii hirtsii [The simulation of pushing and breaking-up process at the hump yard]. *Transportni systemy ta tekhnolohii perevezen: zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Transport systems and transport technologies. Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2012, issue 4, pp. 13-19.
4. Bobrovskiy V.I. Dorosh A.S. Optimizatsiya rezhimov tormozheniya ottsepov raschetnoy gruppy sostava [The optimization of retarding regimes within the particular group of cuts]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 1 (43), pp. 104-112.
5. Bobrovskiy V.I. Predstavleniye prodolnogo profilya sortirovochnykh gorok v ASU rasformirovaniyem sostavov [Presentation of the longitudinal profile of sorting yards in automated control system of train breaking-up]. *Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy na zheleznodorozhnom transporte – Information Management Systems on Railway Transport*, 1996, no. 1/2, pp. 19-25.
6. Bobrovskiy V.I., Demchenko E.B. Sovershenstvovaniye imitatsionnoy modeli protsesa nadviga i rospuska sostavov na sortirovochnykh gorkakh [Improving the simulation model of the pushing and braking-up process on humps]. *Transportni systemy ta tekhnolohii perevezen: zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Transport systems and transport technologies. Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2012, issue 3, pp. 5-9.
7. Grebenyuk P.T., Dodranov A.N., Skvortsova A.I. *Tyagovyvye raschety* [Traction calculations] Moscow, Transport Publ, 1987, 272 p.
8. Demchenko E.B. Otsenka raskhoda topliva manevrovymi teplovozmami pri rasformirovanii sostavov na sortirovochnykh gorkakh [The evaluation of shunting engines fuel consumption during the humping process]. *Transportni systemy ta tekhnolohii perevezen: zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Transport systems and transport

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- technologies. Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2013, issue 6, pp. 39-46.
9. Kozachenko D.M., Berezovyi M.I., Taranets O.I. Modeliuvannia roboty sortuvalnoi hirky v umovakh nevyznachenosti parametriv vidchepiv ta kharakterystyk navkolyshnoho seredovyshcha [Simulation of work under hump uncertain parameters unhooked and environmental conditions]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsirnalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 16, pp. 73-76.
 10. Korzhenevich I.P. Otsenka raskhoda topliva ili elektroenergii cherez mekhanicheskuyu rabotu lokomotiva [Evaluation of fuel or electricity consumptions based on locomotive mechanical work]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsirnalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 29, pp. 88-90.
 11. *Metodicheskiye ukazaniya po sravneniyu variantov proyektnykh resheniy zheleznodorozhnykh liniy, uzlov i stantsiy* [Guidelines for comparing the variants of design decisions of railway lines, junctions and stations]. Moscow, VPTITRANSSTROY Publ., 1988, 468 p.
 12. Nazarov L.S., Nazarov S.L. Povysheniye effektivnosti manevrovoy raboty [Effectiveness increasy of the shunting operations]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2001, no 8, pp. 56-57.
 13. Oggar O.M. Naukovyi pidkhid do vyznachennia ratsionalnykh konstruktivno-tekhnologichnykh parametriv sortuvalnykh hirok [Scientific approach to the definition of rational constructive and technological parameters of humps]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytu zaliznychnoho transportu* [Proc. of Donetsk institute of railway transport], 2009, no. 18, pp. 9-16.
 14. Bobrovskiy V.I., Kozachenko D.N., Bozhko N.P., Rogov N.V., Berezovyy N.I., Kudryashov A.V. *Optimizatsiya rezhimov tormozheniya ottsepov na sortirovochnykh gorkakh* [Optimization of cut braking modes at the sorting yards]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2010. 260 p.
 15. *Pravila i normy proyektirovaniya sortirovochnykh ustroystv na zheleznykh dorogakh Soyuzu SSR. VSN 207-89* [State standart VSN 207-89. Rules and regulations of the design of sorting devices on the railways of the USSR]. Moscow, Transport Publ., 1992, 104 p.
 16. *Pravila tyagovykh raschetov dlya poyezdnoy raboty* [Rules of traction calculations for train operation]. Moscow, Transport Publ., 1985. 287 p.
 17. Ovchinnikov V.M., Pozhidayev S.A., Shvets N.G., Skrezhendevskiy V.V. Sokrashcheniye raskhoda dizelnogo topliva na manevrakh [Reduce cost of diesel fuel on maneuvers]. *Transportni systemy ta tekhnologii perevezhen: zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsirnalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Transport systems and transport technologies. Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]. Dnipropetrovsk, DNUZT Publ., 2011, issue 1, pp. 62-70.
 18. Corder G.W. *Nonparametric Statistics for Non-Statisticians: A Step-by-Step Approach*, New York, John Wiley & Sons Inc. Publ., 2009, 264 p. doi: 10.1002/9781118165881.
 19. Dorosh A.S. Determination of braking optimal mode of controlled cut of design group. Nauka ta prohres transportu. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 3 (57), pp. 36-44. doi: 10.15802/stp2015/46044.
 20. Kerby D.S. The simple difference formula: An approach to teaching nonparametric correlation. *Innovative Teaching*, 2014, no 3, pp. 1-9.
 21. Shengjun F. Research on Application of Braking Retarder Speed Control System. *Retarders & Speed Control Technology*, 2012, issue 4, pp. 11-16.
 22. Tian-ming M. The Research of Hump Retarder Assistant Speed Control System. *Retarders & Speed Control Technology*. 2011, issue 1, pp. 1-7.

Prof. T. V. Butko, D. Sc. Tech. (Ukraine); Prof. V. I. Bobrovskiy, D. Sc. Tech. (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: Nov.11, 2015

Received: Nov. 26, 2015

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.423.33:621.336.2

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ^{1*}, А. В. АНТОНОВ²

¹ТОВ «Глорія», пр. Леніна, 108-а, Запоріжжя, Україна, 69004, тел. + 38 (0612) 34 80 45,
ел. пошта jurij.bolshakov@gmail.com, ORCID 0000-0002-1513-2992

²Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25,
ел. пошта a.v.antonov91@gmail.com, ORCID 0000-0001-5701-6087

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТРУМОЗНІМАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ТРИБОСИСТЕМИ «КОНТАКТНИЙ ПРОВІД – ВУГІЛЬНА ВСТАВКА»

Мета. Наукова робота присвячена деталізованому аналізу взаємозв'язків у точці контакту пари тертя «контактний провід – струмознімальна вставка». В роботі необхідно: 1) дослідити якість виготовлення натурних зразків струмознімальних елементів різних виробників; 2) звужити діапазон твердості для вугільних вставок; 3) розробити методику сортування вугільних струмознімальних вставок за структурним параметром. **Методика.** Проведена робота ґрунтується на використанні положень теорії надійності технічних систем та електромеханічних процесів. **Результати.** У роботі досліджені взаємозв'язки в точці контакту пари тертя «контактний провід – струмознімальна вставка», встановлений зв'язок між твердістю та питомим електричним опором. Запропоновано звужити діапазон твердості вугільних вставок. Розроблена методика сортування вугільних струмознімальних вставок за твердістю, а в ході досліджень встановлена невідповідність струмознімальних вставок існуючим нормативним вимогам. Запропоновано екіпірувати полози струмоприймачів струмознімальними елементами за спеціальною схемою та розробити спеціалізований дослідницький комплекс, на якому можна буде проводити дослідження взаємодії пари тертя «контактний провід – струмознімальна вставка». **Наукова новизна.** В ході проведеного дослідження струмознімальних вставок встановлена різка структурна неоднорідність матеріалу та коливання щільності вставки по довжині. Встановлена залежність між твердістю вставок та питомим електричним опором. Проведений аналіз та зроблений висновок про необхідність зниження нормального інтервалу значень показника твердості. Базуючись на результатах проведених досліджень, отримані експериментальні залежності та запропонована методика для сортування вугільних струмознімальних вставок за структурним параметром. **Практична значимість.** Отримані результати досліджень вугільних струмознімальних вставок визначають необхідність використання методики для сортування вугільних струмознімальних вставок та використання спеціальної схеми при екіпіровці полозу струмоприймача. Це дозволить оптимізувати їх роботу, знаючи обмеження для меж експлуатації та вигляд цільової функції, якої необхідно досягти. Запропоновані заходи дозволяють зменшити інтенсивність електричного та механічного зношування матеріалів пари тертя «контактний провід – вставка струмоприймача». А використання спеціалізованого комплексу для дослідження пари тертя дозволить проводити наукові роботи по визначенню інтенсивності зношування контактних поверхонь пари тертя та коефіцієнта тертя при різних зовнішніх факторах.

Ключові слова: струмознімальні елементи; графіт; твердість; питомий електричний опір; зносостійкість; ресурс; полоз струмоприймача

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Вступ

Процес передачі електричної потужності повинен відбуватись при наявності постійного механічного та електричного контакту, тобто безперервно і з високою надійністю. В той же час, зношування контактного проводу та струмознімальних вставок повинне бути мінімальним. Робота по передачі через ковзний контакт електричної енергії супроводжується нагрівом зони контакту, викликаного протіканням струму та тертям. Це призводить до механічного та електричного зношування проводу і вугільних вставок. Обернено пропорційна залежність між двома видами зносу дозволяє характеризувати мінімізацію зносу як одну з найбільш важких та в той же час актуальних технічних проблем.

Сила притиснення значною мірою залежить від швидкості руху електрорухомого складу, а величина контактної плями між взаємодіючими поверхнями пари тертя – від сили притиснення. Оскільки ідеально гладких поверхонь не існує, контакт між контактним проводом та струмознімальною вставкою реалізується через так звані контактні містки [1, 8], в результаті чого з'являється контактний опір, який, як відомо, залежить від температури в контакті. В результаті протікання великих значень струму через точку контакту з'являється електрична складова зносу [9] і, як наслідок, контактні містки оплавляються, матеріал контактних проводів знеміцнюється, а матеріал вугільних вставок вигорає.

Для розв'язання питання мінімізації зносу необхідно виконати деталізований аналіз процесів, які протікають в точці контакту між контактним проводом та струмознімальною вставкою.

Мета

Метою цієї роботи є деталізований аналіз взаємозв'язків в точці контакту пари тертя «контактний провід – струмознімальна вставка». В роботі необхідно дослідити якість виготовлення натурних зразків струмознімальних елементів різних виробників, звужити діапазон твердості для вугільних вставок, розробити методику сортування вугільних струмознімальних вставок за структурним параметром.

Методика

Твердість – один із найважливіший показників для всіх виробів, які є елементами пари тертя, в тому числі і для вугільних вставок. Вона вирішальним чином впливає на їх стійкість стосовно механічного зношування. Твердість вугільно-графітових матеріалів визначається рецептурою та технологією виготовлення, тісно пов'язана з провідниковими властивостями, які для вугільних вставок також мають першочергове значення [3, 12, 15]. Отже, якщо з тих чи інших причин небажано вводити в склад вставок метал, то зменшення питомого електричного опору досягається за рахунок певної втрати їх твердості [10].

Поєднання високої твердості, міцності та низького питомого електричного опору забезпечує високі експлуатаційні показники вставок при зніманні великих значень струму, однак необхідно при цьому розглядати дугостійкість матеріалу. Електромеханічні показники вугільних вставок відображені у відповідній нормативній документації [7].

В роботі [5] зроблено висновок на підставі тривалих експлуатаційних досліджень, що універсальна вуглецева вставка повинна поєднувати в собі високі фізико-механічні характеристики вставок типу «А» та дугостійкість, щільність, питомий електричний опір вставок типу «Б».

На підставі досліджень, виконаних в [10], встановлено, що іскріння збільшується зі збільшенням величини струму, який знімається. Поява цього явища не пов'язана з відривами полозу від проводу, воно пояснюється тим, що потужність втрат, яка виділяється в контактній точці, при великих струмах може перевищити допустиму потужність розсіювання контактної містки для цього струмознімального матеріалу [8, 13]. При цьому контактний місток руйнується, а його матеріал виноситься – цей процес проявляється у вигляді іскріння.

Вставки на графітовій основі, порівняно з вугільними, мають підвищену дугостійкість за рахунок меншої твердості та меншого питомого електричного опору матеріалу, а також більшої стійкості графіту до окиснення порівняно з його аморфним різновидом – вугіллям [5, 9]. Однак, вставки на графітовій основі мають настільки низьку механічну міцність та зносостійкість, що на європейських та американсь-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

ких залізницях вони не використовуються і в перспективі не розглядаються.

Однією з причин різкого скорочення терміну експлуатації вугільних вставок є нерівномірне розподілення твердості по їх довжині, це свідчить про різку структурну неоднорідність матеріалу готового виробу та коливання щільності вставки по довжині. При значних струмо-

вих навантаженнях густина струму в точці контакту стрімко зростає і, як сказано вище, різко збільшується електрична складова зносу. Результатом такої взаємодії є підпали, появи каверн та кратерів, які в подальшому перетворюються в пропили та різко погіршують якість струмознімання і можуть призвести до обриву контактного проводу рис. 1 [14, 19, 20].

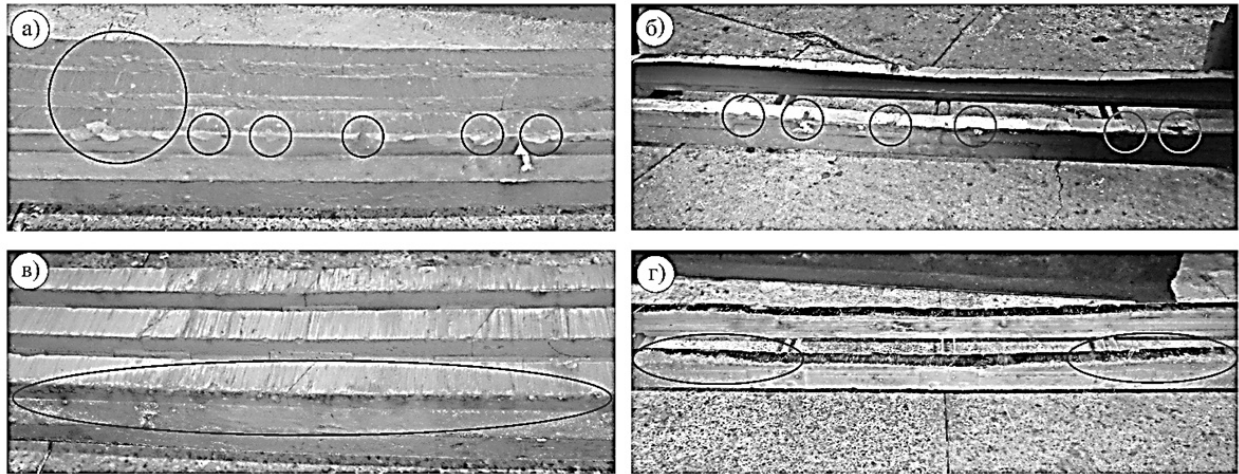


Рис. 1. Характерні пошкодження струмознімальних вставок:
а, б – сколи на набігаючій частині вставок першого ряду;
в, г – підпали та результати електродугового впливу на вставки третього ряду

Fig. 1. Typical damages of current collector inserts:
а, б – chips on oncoming part of the first row inserts;
с, d – the results of burning and electric influence on the third row inserts

Як видно з рис. 1, на набігаючій частині вставок першого ряду, за рухом локомотива, трирядного та дворядного полозу помітні сколи, а вставки останнього ряду мають характерні пошкодження від електричного зносу.

Відомо, що на ковзний контакт впливають такі зовнішні фактори: сила натиску, швидкість руху, тривалість імпульсів зміни сили натиску та температура. Сила натиску в контакті, разом з частотою відривів є основними факторами при оцінці взаємодії контактної підвіски зі струмоприймачем. Крім конструкції підвіски та струмоприймача, на силу натиску значно впливають також швидкість руху [14], фізичні та хімічні процеси, що протікають в ковзному контакті. Прослідкувати характер взаємозв'язку електричної та механічної складової зносу можна з рис. 2.

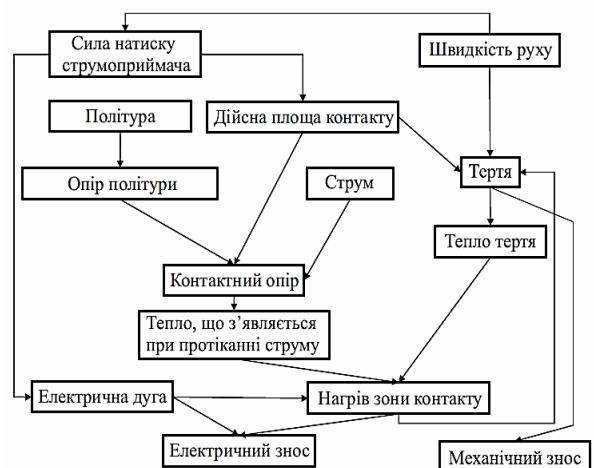


Рис. 2. Взаємозв'язки в точці контакту пари тертя «контактний провід – струмознімальна вставка»

Fig. 2. The relationship in the contact point of friction pair «contact wire – current collector insert»

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

В результаті нагріву зони контакту, перш за все, підвищується температура контактної плями, яка є важливим параметром, що визначає фізичні та хімічні процеси, які протікають в ковзному контакті. Контактна пляма – основний елемент під час розгляду взаємодії контактного проводу зі струмоприймачем. Її структура визначається фізичними та хімічними властивостями матеріалів контактної пари «контактний провід – струмознімальна вставка» [8, 16, 18]. До цих властивостей відносять загальні характеристики контакту, такі як об'єм, щільність та склад контактуючих елементів. Поверхні, які знаходяться в контакті, характеризують розмірами та геометрією, а також класом чистоти обробки, крім того, враховують механічні характеристики контактуючих елементів.

Про важливість такої характеристики фізико-механічних властивостей гетерогенних структур, до яких відносять і вугільні матеріали, як показник твердості, написано достатньо [1, 13]. Загальноприйнятим та широкорозповсюдженим для виробів з вугільних матеріалів є визначення (вимірювання) твердості методом вдавлення кульки за методом Брінелля [6], видозміненим методом Роквелла та методом Шора. Вищевказаними методами користуються усі ведучі світові виробники. Наприклад, в СРСР діяв ГОСТ 14692-78, в якому твердість вставок для електрорухомого складу вимірювалась видозміненим методом Роквелла (HRC 10/150). Цей метод практично без змін використовується у всіх діючих ТУ країн СНД. Однак, багаторічний досвід використання вугільних вставок Новочеркаського електродного заводу показав, що нормований інтервал значень твердості в межах 64 – 93 HRC є невиправдано широким. Максимальне значення перевищує мінімальне в 1,45 разів. Такий значний інтервал розкиду +/- 14,5 одиниць від середнього значення 78,5 HRC призводить до:

- поставка партій вставок суттєво може відрізнитися одна від одної (на 30–45 %);
- в межах однієї партії можлива наявність вставок з мінімальними та максимальними значеннями твердості;
- сама вставка, по довжині, може мати різну твердість, оскільки вимірювання виконують в п'яти точках, з відхиленням від середнього значення +/- 45 %. Наприклад, вимірювання

дає результати: 57, 64, 75, 90, 93. Середнє значення 76, що відповідає нормативному показнику, проте різниця між мінімальним та максимальним значенням складає 63 %;

- в процесі екіпірування полозу струмоприймача 8 чи 11 вставок можуть бути встановлені з різною твердістю;

- нестабільність міцнісних властивостей вставок від партії до партії, а також в межах однієї партії, при експлуатації зумовлює підвищення їх витрат та за несприятливих погодних умов збільшується кількість пропилів, сколів та інше;

- дослідним шляхом встановлено, що при аналізі зношених вставок, вставки з твердістю 85 HRC та вище різко збільшують вірогідність появи на їх робочій поверхні слідів міді з контактного проводу (рис. 3).



Рис. 3 Сліди міді на струмознімальній частині вставок

Fig. 3. Traces of copper on the current collector part of the inserts

Таким чином, вставки з такою твердістю здирають політуру з проводу, тобто захисні вторинні структури. А це те, заради чого вставки з вугільного матеріалу використовуються як ковзні контактні елементи на електротранспорті. Крім того, вставки з підвищеною твердістю мають високий коефіцієнт тертя з впливаючими звідси наслідками. Наведений аналіз та дослідні дані дозволяють зробити висновок про необхідність зниження нормального інтервалу значень показника твердості. Стосовно до вказаного методу HRC 10/150 можна досить обґрунтовано для вугільних вставок типу «А» запропонувати інтервал 65–85 HRC, тобто 74,5 +/- 10,5.

В роботі було виконано дослідження залежності твердості від питомого електричного опору для комплексу вугільних струмознімальних вставок типу «А» та «Б» різних виробників.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Визначення питомого електричного опору на струмознімальній частині вставки виконано відповідно до [7] на стенді для діагностування вугільних вставок, при струмі 30 А, твердість струмознімальної частини вставки визначалась у 8 точках по її довжині відповідно до [6].

На рис. 4 та 5 наведені результати дослідження твердості струмознімальної частини комплексу вставок типу *A* та *B* відповідно.

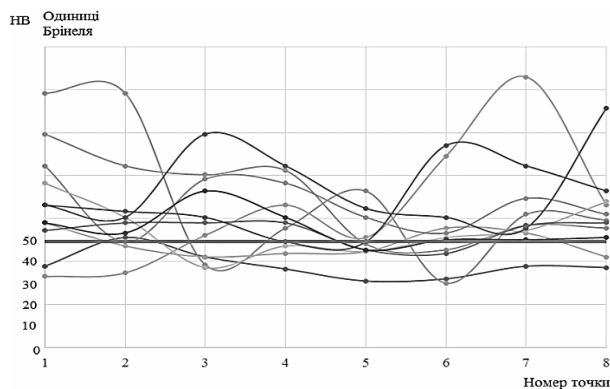


Рис. 4. Розподіл твердості струмознімальної частини вугільних вставок типу *A* по її довжині

Fig. 4. Distribution of hardness of current collector inserts, type *A* in its length

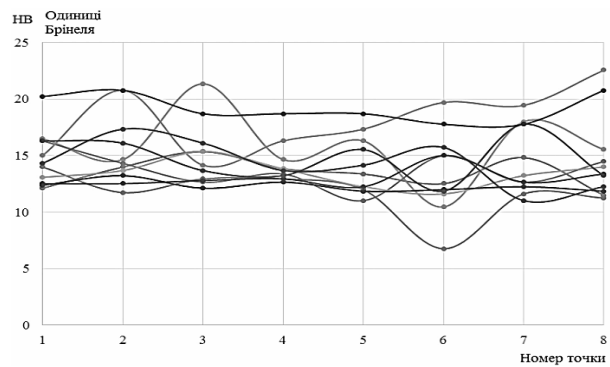


Рис. 5. Розподіл твердості струмознімальної частини вугільних вставок типу *B* по її довжині

Fig. 5. Distribution of hardness of current collector inserts, type *B* in its length

Як видно з отриманих результатів досліджень, більша частина досліджених вставок типу «*A*» не відповідає за показником твердості нормативним документам для вставок такого типу (за умови HB 10/250/30, максимальне число твердості становить 50 одиниць за шкалою Брінелля). Використання таких ковзних контактів в експлуатації призведе до різкого збільшення механічної та електричної складової

зносу контактного проводу та вугільних вставок і, як результат, до марнотратного використання ресурсу струмознімальних вставок.

Результати досліджень вставок типу «*B*» показують знижені міцнісні характеристики, це позитивно впливає на зносостійкість контактного проводу, свідчить про електродугову стійкість матеріалу, але і водночас про різке скорочення пробігу полозів, обладнаних такими струмознімальними елементами.

При подальшому дослідженні були додатково визначені значення твердості та питомого електричного опору для інших зразків вставок, побудовані експериментальні залежності між цими величинами (рис. 6, 7).

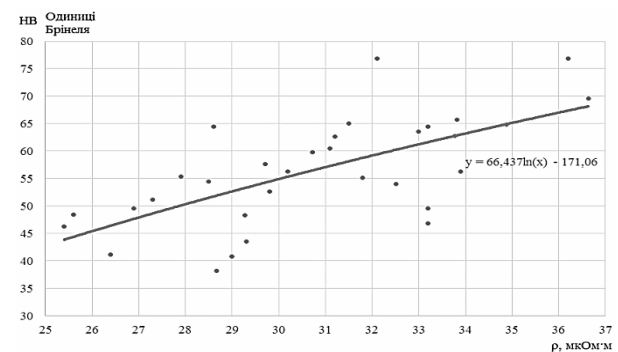


Рис. 6. Експериментальна залежність HB від ПЕО вугільних струмознімальних вставок типу «*A*»

Fig. 6. Experimental dependence HB from PEO of coal current collector inserts type «*A*»

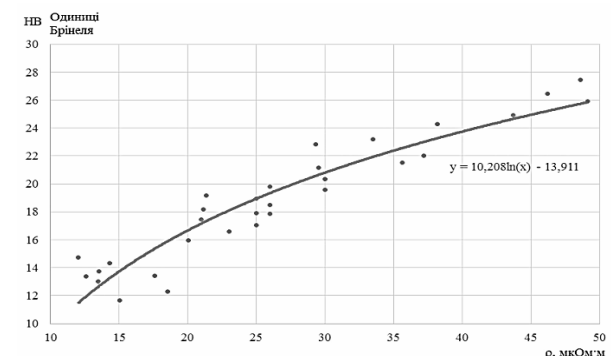


Рис. 7. Експериментальна залежність HB від ПЕО вугільних струмознімальних вставок типу «*B*»

Fig. 7. Experimental dependence HB from PEO of coal current collector inserts type «*B*»

В ході виконаної роботи з дослідження вугільних струмознімальних вставок був встановлений зв'язок між їх твердістю та питомим електричним опором, на підставі чого запропоно-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

вана методика сортування вставок за твердістю. Блок-схему методики наведено нижче (рис. 8).

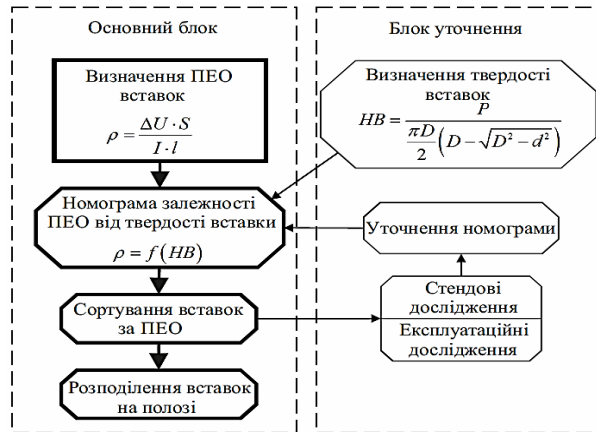


Рис. 8. Методика сортування вугільних вставок за твердістю

Fig. 8. Method of coal inserts sorting by hardness

Використання методики сортування вугільних струмоznімальних вставок за твердістю та застосування спеціальної схеми для їх розміщення на полозі струмоприймача не може вирішити питання економічності та ресурсозбереження при роботі вугільних вставок, якість виготовлення яких далеко не завжди відповідає технічній документації виробника і, відповідно, існуючим нормам [6]. Водночас використання запропонованої методики може оптимізувати роботу вугільних струмоznімальних вставок, оскільки відомі обмеження для меж їх експлуатації та вид цільової функції якого необхідно досягти.

Наукова новизна та практична значимість

Отримані результати досліджень вугільних струмоznімальних вставок визначають необхідність використання методики для сортування вугільних струмоznімальних вставок та використання спеціальної схеми при екіпіровці полозу струмоприймача. Це дозволить оптимізувати їх роботу, знаючи обмеження для меж експлуатації та вигляд цільової функції, якої необхідно досягти. Запропоновані заходи дозволяють зменшити інтенсивність електричного та механічного зношування матеріалів пари тертя «контактний провід – вставка струмоприймача». А використання спеціалізованого комплек-

су для дослідження пари тертя дозволить проводити наукові роботи по визначенню інтенсивності зношування контактних поверхонь пари тертя та коефіцієнта тертя при різних зовнішніх факторах.

Висновки

1. Різка структурна неоднорідність матеріалу струмоznімальних вставок та коливання щільності вставки по довжині, при значних струмових навантаженнях у точці контакту між контактним проводом та вугільною вставкою, викликає різке збільшення електричної складової зносу (вигорає матеріал вставок, з'являються підпали, каверни, кратери і, як результат, пропили), результат дії якої може призвести до появи аварійних ситуацій та зупинки руху поїздів.

2. Відсутність єдиної методики для перевірки якості виготовлення струмоznімальних елементів, широкі межі розкиду їх параметрів по твердості та питомому електричному опорі, недобросовісне ставлення виробників до якості своєї продукції унеможливує раціональне використання струмоznімальних елементів в експлуатації.

3. Відповідно до отриманих результатів досліджень пропонується вугільні струмоznімальні вставки поділяти за значенням твердості на групи та розташовувати на полозі струмоприймача за спеціальною схемою.

4. Для уточнення та підтвердження запропонованої методики дослідження характеристик контактних пар тертя пристроїв струмоznімання та їх порівняльної оцінки необхідно розробити спеціалізований стенд, на якому можна було б виконувати комплексні дослідження роботи контактної пари «контактний провід – струмоznімальна вставка».

5. Струмоznімальні елементи, які використовують для електрифікованих залізниць, більшою мірою не відповідають техніко-експлуатаційним вимогам, що висуваються до вставок для забезпечення надійності та довговічності системи «контактний провід – струмоznімальна вставка». В ході виконаної роботи був встановлений зв'язок між їх твердістю та питомим електричним опором. На підставі отриманих результатів досліджень і виконаного аналізу пропонується в нормативній докумен-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

тації змінити діапазон числових значень твердості вугільних струмознімальних вставок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Берент, В. Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта / В. Я. Берент. – Москва : Интекст, 2005. – 408 с.
- Большаков, Ю. Л. Діагностування вугільних струмознімальних вставок в умовах експлуатації / Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов // Електрифікація транспорту. – 2015. – № 9. – С. 15–22.
- Большаков, Ю. Л. Перспективные направления создания современных углеродных материалов для вставок токоприемников электротранспорта / Ю. Л. Большаков, И. С. Гершман, В. Г. Сыченко // Електрифікація транспорту. – 2013. – № 5. – С. 19–23.
- Большаков, Ю. Л. Підвищення ресурсу вугільних струмознімальних вставок струмоприймачів швидкісного електрорухомого складу в умовах експлуатації / Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 4 (58). – С. 57–70. doi: 10.158.02/STP2015/49321.
- Вологин, В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети. – Москва : Интекст, 2006. – 256 с.
- ГОСТ 9012–5–2007. Металлы. Методы измерения твердости по Бринеллю. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 39 с.
- ГОСТ 32680–2014. Токоъемные элементы контактные токоприемников электроподвижного состава. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 14 с.
- Колесов, С. Н. Материалы и взаимодействие контактной подвески и токоприемника / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2006. – 284 с.
- Купцов, Ю. Е. Беседы о токоосеме и его надежности, экономичности и о путях совершенствования / Ю. Е. Купцов. – Москва : Модерн-А, 2001. – 256 с.
- Купцов, Ю. Е. Применение угольных вставок на токоприемниках электроподвижного состава / Ю. Е. Купцов // Труды ЦНИИ МПС. – Москва : Транспорт, 1968. – Вып. 337. – С. 4–25.
- Ли, В. Н. Определение качества изготовления угольных вставок токоприемников / В. Н. Ли, Е. В. Матыцын // Електрифікація транспорту. – 2012. – № 3. – С. 71–73.
- Токоосемные вставки для токоприемников железнодорожного транспорта / И. С. Гершман, Н. В. Миронос, М. А. Мельник, Е. И. Гершман // Вестн. ВНИИЖТа. – 2012. – № 4. – С. 3–10.
- Хольм, Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – Москва : Изд-во иностр. лит., 1961. – 464 с.
- Яндович, В. Н. Сравнительный анализ контактных подвесок в странах Евросоюза и Украины: организация надежного токоосема / В. Н. Яндович, В. Г. Сыченко, А. В. Антонов // Електрифікація транспорту. – 2014. – № 7. – С. 67–77.
- Auditeau, G. Carbon of high destiny for current collection / G. Auditeau // Revue Generale des Chemins de Fer. – 2010. – № 200. – P. 9–19.
- Auditeau, G. Wearout current collection contact / G. Auditeau // Elektrische Bahnen. – 2013. – № 3. – P. 186–194.
- Biesenack, H. Kontakt zwischen Fahrdradt und Schleifleiste–Ausgangspunkte zur Bestimmung des elektrischen Verschleißes / H. Biesenack, F. Pintscher // Elektrische Bahnen. – 2005. – № 3. – P. 138–146.
- Kubo, S. Wear Properties of Metal/Carbon Composite Pantograph Sliders for Conventional Electric Vehicles / S. Kubo, H. Tsuchiya, J. Ikeuchi // Quarterly Report of RTRI. – 1997. – Vol. 38, № 1. – P. 25–30.
- Lee, J. H. Development and Verification of a Dynamic Analysis Model for the Current-Collection Performance of High-Speed Trains Using the Absolute Nodal Coordinate Formulation / J. H. Lee, T. W. Park // Trans. of the KSME. – 2012. – № 36 (3). – P. 339–346.
- Zhou, N. Investigation on dynamic performance and parameter optimization design of pantograph and catenary system / N. Zhou, W. Zhang // Finite Elements in Analysis and Design. – 2011. – Vol. 47. – Iss. 3. – P. 288–295. doi: 10.1016/j.finel.2010.10.008.

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ^{1*}, А. В. АНТОНОВ²

^{1*}ООО «Глория», пр. Ленина, 108-а, Запорожье, Украина, 69004, тел. +38 (0612) 34 80 45, эл. почта jurij.bolshakov@gmail.com, ORCID 0000-0002-1513-2992

²Каф. «Электроснабжение железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 25, эл. почта a.v.antonov91@gmail.com, ORCID 0000-0001-5701-6087

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОКОСЪЕМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ТРИБОСИСТЕМЫ «КОНТАКТНЫЙ ПРОВОД – УГОЛЬНАЯ ВСТАВКА»

Цель. Научная работа посвящена детализированному анализу взаимосвязей в точке контакта пары трения «контактный провод – токосъемная вставка». В работе необходимо: 1) исследовать качество изготовления натуральных образцов токосъемных элементов разных производителей; 2) сузить диапазон твердости для угольных вставок; 3) разработать методику сортировки угольных токосъемных вставок по структурному параметру. **Методика.** Проведенная работа основывается на использовании положений теории надежности технических систем и электромеханических процессов. **Результаты.** В работе исследованы взаимосвязи в точке контакта пары трения «контактный провод – токосъемная вставка», установлена связь между твердостью и удельным электрическим сопротивлением. Предложено сузить диапазон твердости угольных вставок. Разработана методика сортировки угольных токосъемных вставок по твердости, а в ходе исследований установлено несоответствие токосъемных вставок существующим нормативным требованиям. Предложено экипировать полозы токоприемников токосъемными элементами по специальной схеме и разработать специализированный исследовательский комплекс, на котором можно будет проводить исследования взаимодействия пары трения «контактный провод – токосъемная вставка». **Научная новизна.** В ходе проведенного исследования токосъемных вставок установлена резкая структурная неоднородность материала и колебания плотности вставки по длине. Установлена зависимость между твердостью вставок и удельным электрическим сопротивлением. Проведен анализ и сделан вывод о необходимости снижения нормального интервала значений показателя твердости. Основываясь на результатах проведенных исследований, получены экспериментальные зависимости и предложена методика для сортировки угольных токосъемных вставок по структурному параметру. **Практическая значимость.** Полученные результаты исследований угольных токосъемных вставок определяют необходимость использования методики для сортировки угольных токосъемных вставок и использования специальной схемы при экипировке полоза токоприемника. Это позволит оптимизировать их работу, зная ограничения для границ эксплуатации и вид целевой функции, которой необходимо достичь. Предложенные меры позволяют уменьшить интенсивность электрического и механического износа материалов пары трения «контактный провод – вставка токоприемника». А использование специализированного комплекса для исследования пары трения позволит проводить научные работы по определению интенсивности износа контактных поверхностей пары трения и коэффициента трения при различных внешних факторах.

Ключевые слова: токосъемные элементы; графит; твердость; удельное электрическое сопротивление; износостойкость; ресурс; полоз токоприемника

YU. L. BOLSHAKOV^{1*}, A. V. ANTONOV²

^{1*}Gloriya LLC, Lenin Av., 108-a, Zaporizhzhia, Ukraine, 69004, tel. + 38 (0612) 34 80 45,
e-mail jurij.bolshakov@gmail.com, ORCID 0000-0002-1513-2992

²Dep. «Power Supply of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named
after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. + 38 (056) 373 15 25,
e-mail a.v.antonov91@gmail.com, ORCID 0000-0001-5701-6087

INVESTIGATION OF PROPERTIES OF CURRENT COLLECTOR ELEMENTS AND THEIR EFFECT ON THE PERFORMANCE OF TRIBOSYSTEM «CONTACT WIRE – CURRENT COLLECTOR ELEMENT»

Purpose. The paper is devoted to the detailed analysis of interrelations at the contact point of friction pair «contact wire – current collector insert». In the work it is necessary: 1) to examine quality of manufacturing of specimens of current collector elements from different manufacturers; 2) to narrow the range of hardness for carbon inserts; 3) to develop a technique of sorting carbon current collector inserts for the structural parameters. **Methodology.** The executed work was based on the use of the theory of reliability of technical systems and electromechanical processes. **Findings.** The paper studies the interrelation at the contact point of friction pair «contact wire – current col-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

lector insert», the connection was established between the hardness and electrical resistivity. It is proposed to narrow the range of carbon inserts hardness. The method of sorting coal collector inserts in hardness was developed, and the research has revealed the discrepancy of current collector inserts with existing regulations. It was proposed to equip the pantographs slide with current collector elements using special scheme and to develop a specialized research facility, which will be possible to conduct studies of the interaction of the friction pair «contact wire – current collector insert». **Originality.** In the course of the study the current collector inserts the sharp structural heterogeneity and fluctuations of the density of the material along the length of the insert were established. The dependence between hardness of inserts and electrical resistivity was established. It was analyzed and concluded about the need to reduce the values of the normal range of hardness. Based on the results of the research, the experimental dependences were obtained and proposed the method for sorting carbon current collector inserts for the structural parameters. **Practical value.** The obtained results of coal current collector inserts define the need to use method for sorting the coal current collector inserts and the use of a special scheme for equipping pantograph slide. It will allow optimizing their work, knowing the limitations for edges in exploitation and the type of the objective function that should be achieved. The proposed measures can reduce the intensity of the electrical and mechanical wear of materials friction pair «contact wire – current collector inserts». The use of specialized research facility for the study of the friction pair, will allow carrying out the studies to determine the intensity of wear of contact surfaces of the pair of friction and the coefficient of friction at various external factors.

Keywords: current collector elements; graphite; hardness; electrical resistivity; wear; resource; pantograph

REFERENCES

1. Berent V.Ya. *Materialy i svoystva elektricheskikh kontaktov v ustroystvakh zheleznodorozhnogo transporta* [Materials and properties of the electrical contacts in the devices of railway transport]. Moscow, Intekst Publ., 2005. 408 p.
2. Bolshakov Yu.L., Antonov A.V. *Diagnostuvannya vuhilnykh strumoznimalnykh vstavok v umovakh ekspluatatsii* [Diagnosing of carbon current collector inserts under operating conditions]. *Elektryfikatsiia transportu – Electrification of Transport*, 2015, no. 9, pp. 15-22.
3. Bolshakov Yu.L., Gershman I.S., Sychenko V. G. *Perspektivnyye napravleniya sozdaniya sovremennykh ughlerodnykh materialov dlya vstavok tokopriyemnikov elektrotransporta* [Perspective directions of modern carbon materials development for pantograph inserts at e-transport]. *Elektryfikatsiia transportu – Electrification of Transport*, 2013, no. 5, pp. 19-23.
4. Bolshakov Yu.L., Antonov A.V. *Pidvyshchennia resursu vuhilnykh strumoznimalnykh vstavok strumopryimachiv shvydkisnoho elektrorukhomoho skladu v umovakh ekspluatatsii* [Increase the resource of current collection elements of the electrified high-speed transport in operating conditions]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 4 (58), pp. 57-70.
5. Vologin V.A. *Vzaimodeystviye tokopriyemnikov i kontaktnoy seti* [Interaction of pantographs and contact network]. Moscow, Intekst Publ., 2006. 256 p. doi: 10.158.02/STP2015/49321.
6. *GOST 9012-59 – 2007. Metally. Metody izmereniya tverdosti po Brinellyu* [State Standard. Metals. Methods of Brinell hardness]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 39 p.
7. *GOST 32680 – 2014. Tokosemnyye elementy kontaktnyye tokopriyemnikov elektropodvizhnogo sostava* [Current collector contact elements of pantographs in electric rolling stock]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 14 p.
8. Kolesov S.M. *Materialy i vzaimodeystviye kontaktnoy podveski i tokopriyemnika* [Materials and interaction of overhead catenary and pantograph]. Dnepropetrovsk, DNUZhT Publ., 2006. 284 p.
9. Kuptsov Yu.Ye. *Besedy o tokoseme i yego nadezhnosti, ekonomichnosti i o putyakh sovershenstvovaniya* [Discussions about current collector and its reliability, efficiency, and ways of improving]. Moscow, Modern-A Publ., 2001. 256 p.
10. Kuptsov Yu.Ye. *Primeneniye ugolnykh vstavok na tokopriyemnikakh elektropodvizhnogo sostava* [Coal inserts application on the pantographs of electric rolling stock]. *Trudy Tsentralnogo nauchno-issledovatel'skogo instituta Ministerstva putey soobshcheniya* [Proc. of Central Research Institute of Traffic Ministry]. Moscow, Transport Publ., 1968, issue 337, pp. 4-25.
11. Li V.N., Matytsyn Ye.V. *Opredeleniye kachestva izgotovleniya ugolnykh vstavok tokopriyemnikov* [Quality determination of coal inserts manufacturing of pantographs]. *Elektryfikatsiia transportu – Electrification of Transport*, 2012, no. 3, pp. 71-73.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

12. Gershman I.S., Mironos N.V., Melnik M.A., Gershman Ye.I. Tokosemnyye vstavki dlya tokopriyemnikov zheleznodorozhnogo transporta [Current collector inserts for pantographs of railway transport]. *Vestnik Vse-rossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of All-Russian Scientific Research Institute of Railway Transport], 2012, no. 4, pp. 3-10.
13. Kholm R. *Elektricheskiye kontakty* [Electrical contacts]. Moscow, Izdatel'stvo inostrannoy literatury Publ., 1961. 464 p.
14. Yandovich V.N., Sychenko V.G., Antonov A.V. Sravnitel'nyy analiz kontaknykh podvesok v stranakh Yevrosoyuza i Ukrainy: organizatsiya nadezhnogo tokosema [Comparative analysis of overhead catenary in the European Union and Ukraine: organization of reliable current collection]. *Elektrifikatsiya transportu – Electrification of Transport*, 2014, no. 7, pp. 67-77.
15. Auditeau G. Carbon of high destiny for current collection. *Revue Generale des Chemins de Fer*, 2010, no. 200, pp. 9-19.
16. Auditeau G. Wearout current collection contact. *Elektrische Bahnen*, 2013, no. 3, pp. 186-194.
17. Biesenack H., Pintscher F. Kontakt zwischen Fahrdrat und Schleifleiste – Ausgangspunkte zur Bestimmung des elektrischen Verschleißes. *Elektrische Bahnen*, 2005, no. 3, pp. 138-146.
18. Kubo S., Tsuchiya H., Ikeuchi J. Wear Properties of Metal/Carbon Composite Pantograph Sliders for Conventional Electric Vehicles. *Quarterly Report of RTRI*, 1997, vol. 38, no. 1, pp. 25-30.
19. Lee J.H., Park T.W. Development and Verification of a Dynamic Analysis Model for the Current-Collection Performance of High-Speed Trains Using the Absolute Nodal Coordinate Formulation. *Trans. of the KSME*, 2012, no. 36 (3), pp. 339-346.
20. Zhou N., Zhang W. Investigation on dynamic performance and parameter optimization design of pantograph and catenary system. *Finite Elements in Analysis and Design*, 2011, vol. 47, issue 3, pp. 288-295. doi: 10.1016/j.finel.2010.10.008.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Г. К. Гетьманом (Україна), д.т.н., проф. М. В. Хворостом (Україна)

Надійшла до редколегії: 16.09.2015

Прийнята до друку: 26.11.2015

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

УДК 625.1-027.45

І. О. БОНДАРЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, ел. пошта irina_bondarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4717-3032

ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМАТИВНОЇ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

Мета. В дослідженні передбачається визначення особливості деформативної роботи залізничної колії за рахунок встановлення меж стійкості рейкової колії, у залежності від конструкції та стану систем верхньої та нижньої будов колії, плану лінії для можливості формування нормативної бази з надійності та функціональної безпеки залізничної колії України. **Методика.** Для досягнення мети використано повну методику С. П. Першина щодо визначення критичних значень стискаючої сили. **Результати.** Автором встановлено, що співвідношення мінімальних значень стискаючої сили при певних деформаціях вигину можуть бути застосовані як оціночні умови деформативної стійкості колії та основи для формування бази з надійності та функціональної безпеки залізничної колії України. **Наукова новизна.** Запропоновано теоретичні положення для розгляду деформативної стійкості системи конструкцій верхньої та нижньої будов колії, що порушуються рухомим складом. Це дозволить дослідити процес деформативної роботи зазначеної системи, при якому відбуваються зміни її станів протягом встановленого напрацювання. Отже, це дозволить визначити параметри функціональної надійності руху поїздів як складової безпеки пропуску рухомого складу по ділянці колії із урахуванням її технічного стану. **Практична значимість.** Зазвичай для безпечного пропуску рухомого складу визначаються параметри процесу коливань системи «екіпаж – колія». Ці параметри нормовано інструкціями з улаштування та утримання рейкової колії. Але зміни нормативної бази залізничного транспорту за останні роки передбачають дотримання його функціональної безпеки, які в існуючих нормативах стосовно залізничної колії не враховані. Тому необхідно питання про оцінку впливу дії рухомого складу на колію розглядати як динамічний процес, критерії граничних станів якого обумовлені на підставі існуючих нормативів, співвіднесених зі станами надійності, а на їх основі розробити критерії безпеки протягом всього життєвого циклу. При розгляді динамічного процесу коливання колії та рухомого складу необхідно враховувати деформативну стійкість колії. Це питання розглядалось тільки з точки зору зміни температурних деформацій. Дане дослідження надає засади, при яких можна враховувати й жорсткісні деформації для можливості формування нормативної бази з надійності та функціональної безпеки залізничної колії України.

Ключові слова: деформативна робота колії; стійкість колії; надійність колії

Вступ

Умови обертання рухомого складу це умови, що забезпечують безпеку руху, дотримання правил обслуговування та утримання, а також допустимий вплив на залізничну колію (за умови обов'язкового виконання яких рухомий

склад залізниць може застосовуватися в перевізному процесі). Спочатку під конкретні умови обертання рухомого складу (вантажонапруженість і встановлені швидкості руху) визначаються характеристики підсистеми інфраструктури залізничного транспорту, яка включає в себе верхню будову колії, земляне полотно,

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

водовідвідні, протидеформаційні, захисні та укріплювальні споруди земляного полотна, розташовані в смузі відводу, а також штучні споруди. А вже в процесі експлуатації коригуються умови обертання відповідно до стану підсистеми інфраструктури залізничного транспорту. І при незадовільному стані підсистеми її реконструюють під необхідні експлуатаційні умови. Цикл зміни умов обертання рухомого складу складається з двох операцій. Проте в реальності цей процес набагато складніший.

Всі існуючі нормативні методики розрахунків показників впливу дії рухомого складу залізниць на залізничну колію засновані на виконанні вимог міцності і стійкості. При цьому не завжди їх виконання приводить до позитивного результату, оскільки відсутні чіткі взаємозв'язки між розрахунками за різними методиками. Наприклад, розрахунок стійкості земляного полотна жодним чином не пов'язаний з розрахунком його міцності. Крім того, відсутність критеріїв за деформативними характеристиками складових частин верхньої і нижньої будов призводить, по-перше, до нерівнопружності залізничної колії по довжині, по-друге, до неможливості забезпечення на всіх ділянках залізничних ліній існуючих нормативних значень параметрів напружено-деформованого стану та ресурсу, втретє, до незабезпечення вимог безпечної експлуатації протягом життєвого циклу. Таким чином, існуючі методи і методики оцінки показників впливу рухомого складу на колію не забезпечують свого головного призначення: забезпечення експлуатаційної надійності підсистем інфраструктур.

Основним напрямком зміни нормативної бази залізничного транспорту за останні роки стало врахування питань з безпеки інфраструктури залізничного транспорту. Так, прийняті і такі що розробляються стандарти: ГОСТ 32192-2013 «Надежность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения», ГОСТ (проект) «Безопасность функциональная. Политика, программа обеспечения безопасности. Доказательство безопасности объектов железнодорожного транспорта», ГОСТ (проект) «Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте», зміни, що вносяться в технічний регламент Митного союзу «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта».

Основна вимога з метою забезпечення безпеки до залізничної колії зводиться до того, що всі складові частини залізничної колії (земляне полотно, верхня будова колії та ін.) та елементи складових частин залізничної колії (рейки, стрілочні переводи, рейкові скріплення, шпали, баласт і ін.) по міцності, несучій здатності і стійкості повинні забезпечувати безпечний рух залізничного рухомого складу з найбільшими швидкостями в межах допустимих значень протягом усього життєвого циклу. При цьому верхня будова колії та земляне полотно повинні забезпечувати стабільність положення залізничної колії в плані і поздовжньому профілі як в навантаженому, так і в ненавантаженому стані протягом всього періоду експлуатації. Геометричні параметри кривих повинні встановлюватися таким чином, щоб забезпечувати стійкість залізничного рухомого складу, яка перешкоджає сходу його коліс з рейок і перекиданню. А конструкція безстикової колії повинна виключати викиди рейко-шпальної решітки при одночасному впливі поїзних і температурних навантажень.

Внесено зміну, яка полягає в дотриманні функціональної безпеки: властивості об'єкта залізничного транспорту виконувати необхідні функції безпеки при всіх передбачених умовах протягом заданого періоду часу. Узагальнюючим показником безпеки, який визначає необхідний ступінь впевненості в тому, що об'єкт буде виконувати задані функції безпеки, є рівень повноти безпеки. Це кардинально змінює принцип, закладений при оцінці впливу дії рухомого складу на колію, від оцінки ризиків на основі правил до оцінки ризиків на основі міркувань безпеки. Раніше було достатньо перевірити відповідність розрізнених показників по плоских статичних моделях (за своєю суттю). Внесена зміна не регламентує розгляд не моменту часу (при якому враховані всі несприятливі умови для окремо розглянутої площини), а динамічного процесу зміни стану експлуатаційної надійності залізничної колії. Цей процес повинен бути класифікований за комплексною оцінкою положення рейкових ниток в плані і профілі, дефектів рейок, що впливають на їх форму, пружних властивостей колії, при відстеженні горизонтального і вертикального переміщень колеса щодо рейки і проміжок часу, протягом якого відбуваються ці переміщен-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ня. Критерії класифікації повинні повністю оцінювати стан залізничної колії відповідно станам надійності.

Враховуючи вищевикладене, можна констатувати факт, що жодна з існуючих нормативних методик не впорається з поставленим завданням. У той же час перехід на цифровий запис експериментальних досліджень [4] повністю підготував їх до верифікації та валідації даних для документованого підтвердження того, що об'єкт виконує всі задані вимоги до функціональної безпеки як складової частини надійності, а сучасні методи зйомки просторової геометрії колії [14] дозволяють контролювати ці вимоги.

Надійність і безпека об'єкта залізничного транспорту залежить від трьох факторів: через джерела відмов, що відбуваються всередині об'єкта на будь-якому етапі життєвого циклу (системні умови), через джерела відмов, що виникають під час експлуатації об'єкта (умови експлуатації), через джерела відмов, що виникають в об'єкті під час технічного обслуговування (умови технічного обслуговування). При реалізації конкретної залізничної системи необхідно визначити фактори, які можуть впливати на її надійність і безпеку, оцінити їх вплив і здійснювати управління причиною цих впливів протягом усього життєвого циклу за допомогою застосування відповідного системного управління для оптимізації показників роботи цієї системи. Тому необхідно питання про оцінку впливу дії рухомого складу на колію розглядати як динамічний процес, критерії граничних станів якого зумовлені на підставі існуючих нормативів, співвіднесених зі станами надійності, а на їх основі розробити критерії безпеки протягом всього життєвого циклу.

Динамічна деформативність колії – виникнення під впливом навантаження конструкції колії деформацій, викликаних змінами форми, розмірів або об'єму елементів за рахунок вібрації елементів конструкції колії чи їхніх частин, змін властивостей матеріалів елементів та зумовлені всіма перемінами переміщення окремих точок конструкції колії. Під процесом деформативної роботи колії будемо розуміти явища динамічної деформативності, що відбуваються під впливом рухомого складу.

Роботи з вивчення динамічних процесів ведуться в різноманітних напрямках. Теоретичну частину, зазвичай, розробляють науковці фізи-

ко-математичного напрямку, а науковці технічного напрямку поширюють розробки з врахуванням особливостей цього процесу. Так в роботі [6], розроблено алгоритм побудови хвильових полів, які генеруються рухомими осцилюючими навантаженнями в гетерогенному шаруватому півпросторі і пакеті шарів. Виконано натурний експеримент реєстрації хвильових полів, які генеруються в основі магістралі поїзного навантаження, що підтвердив висновки теоретичних досліджень. Але складність полягає в тому, що збуджувані хвильові поля несуть в собі інформацію, з одного боку, про інтегральні параметри рухомого складу, а з іншого – про параметри баластної призми і ґрунтового середовища, тому вони дають змогу аналізувати характеристики на основі порівняння, тобто виконувати якісний аналіз.

В роботі Веричева С. Н. [2], який продовжує школу Весницького А. І., досліджується стійкість коливань двомасового осцилятора, який рівномірно рухається по балці моделі Бернуллі-Ейлера, що лежить на в'язко-пружному півпросторі. Недоліком є те, що вводиться еквівалентна жорсткість півпростору і завдання зводиться до вирішення задачі про коливання балки на одновимірній основі, оскільки деформативні характеристики колії є дуже слабким місцем. Хоча принципово важлива відмінність полягає в тому, що еквівалентна жорсткість півпростору не є константою, а залежить від частоти і хвильового числа в балці.

Дуже багато досліджень присвячені впливу динамічних коливань колії на коливання ґрунтів та споруд, що знаходяться поруч. Вони, зазвичай, базуються на експериментах. Прикладом з визначення несучої здатності ґрунтів, може бути робота Абдукамілова Ш. Ш. [5], де виконані польові, лабораторні та теоретичні дослідження. Польові експерименти виконані на лінії Навої – Учкудук – Мискен залізниць Узбекистану. Результати польових досліджень оброблялися з використанням методів математичної статистики. Лабораторні випробування з вивчення впливу величини вібродинамічного навантаження на властивості міцності барханних пісків виконані на вібростабілометричній установці конструкції ЛПЖТу. У роботі виконані розрахунки, на основі яких розроблена методика розрахунку та прогнозування несучої здатності земляного полотна, відсипаного бар-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ханнями пісками, що сприймають вібродинамічне навантаження. Також прикладом робіт такого напрямку є робота [9], де розглянуто динамічні навантаження протягом сезонів та встановлено різницю характеристик вказаного процесу при різних станах ґрунтів. Перевагою таких робіт є різноманітні дослідження поведінки конкретних ґрунтів, але основним недоліком є неможливість розповсюдження отриманих результатів на основі з інших ґрунтів, інші умови експлуатації та інші кліматичні зони.

У зв'язку з постійною потребою збільшення ваги вантажних поїздів, швидкостей пасажирських поїздів та пропускної спроможності залізничних ліній, а також відсутності вільного простору в населених пунктах, підвищення інтенсивності залізничного транспортного шуму і вібрації може стати спільною екологічною проблемою в майбутньому. Тому дуже багато досліджень виконується в цьому напрямку. Так в роботі [11] розглянуто цю проблему в рамках міських хорватських трамвайних та залізничних ліній. В роботі [7] описано досягнення щодо зниження шуму та вібрації, що виконуються за програмою в Німеччині до 2020 р. В роботі [12] описано досвід гонконгських залізничних мереж, протяжність яких сягає 211 км щодо планування та контролю за шумом у великих містах. Ці роботи не дають удосконалення для розрахунку поширення коливань від дії рухомого складу, але значно розширюють інформацію стосовно цих процесів та їх вплив на оточуюче середовище. Крім того, на їх підставі формуються критерії шуму та віброзахисту.

Проблему забезпечення надійної роботи залізничної колії з точки зору обробки існуючої інформації та прогнозування на її підставі імовірності ризиків розглянуто в роботі Касімова Б. Р. [4]. Запропоновано підвищення коефіцієнта готовності колії за рахунок зниження ризиків, що ґрунтується на підвищенні обізнаності та підготовленості до подій. Але не можна врахувати всі майбутні ризиковані події тільки за спостереженням виходу елементів верхньої будови колії та зміни експлуатаційних умов. Для прогнозування необхідно враховувати поведінку й нижньої будови колії, адже вона має найбільший термін служби, ніж всі елементи залізничної колії. Отже, прогнозування буде мати похибки, якщо не забезпечувати

однаковий стан земляного полотна при подальшій експлуатації, але напрям сучасно розширює поняття працездатного стану колії.

При вивченні коливань системи «екіпаж-колія» сформовано два напрями досліджень: вивчення коливань рухомого складу та вивчення коливань колії. Обидва напрями вивчають коливання дослідного об'єкта за умови, що партнер по взаємодії задається певним збуджуючим коливанням. Обидва напрями не враховують відклик партнера від взаємодії.

Дослідження коливань з конструкцій верхньої та нижньої будови колії зводяться до вивчення коливань рейки при певних впливах рухомого складу та певних характеристиках підрейкової, а іноді підшпальної, основи. Результатами таких досліджень є напружено-деформований стан, що характеризує міцність та витривалість.

Коливання рухомого складу вивчаються більш широко. Але при їх дослідженні коливання системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії подають як набір збуджуючих коливань. Функції, що описують ці коливання, навіть не мають чіткої залежності від характеристик елементів системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії.

Експериментальні дослідження зводяться до визначення станів рухомого складу та колії в конкретних перетинах, та відповідності цих станів нормативам. Вивчення взаємодії рухомого складу та колії за допомогою тензометричних пар не набуло розвитку з причин необхідності розробки нових підходів, методів і параметрів оцінки цього процесу та відсутності задач, що спонукають для розробки нових впроваджень.

У всіх виданнях, що присвячені коливанням системи «екіпаж-колія», зазначено, що коливання рухомого складу приносять багато збитків. Вони призводять до розладів колії, порушують плавність ходу, іноді можуть призвести до сходу екіпажа з рейок. Коливання екіпажа викликаються багатьма причинами: нерівностями колії; нерівнопружністю рейкових опор; режимом тяги та її силою; нерівностями на колесах рухомого складу.

Види та розмах коливань рухомого складу, їх наростання або згасання залежать як від конструктивних особливостей рухомого скла-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ду, так і систем конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії. При цьому до цього часу досліджуються нерівності рейок, як першопричини цих коливань, але з точки зору появи нерівностей як абразивного, так і адгезивного зносу рейок.

Вважається, що резонансні явища в рейці між суміжними колесами візків при динамічній взаємодії ходових частин з верхньою будовою колії виникають завжди, та вони є лише необхідною, але не достатньою умовою утворення та подальшого розвитку хвилеподібних нерівностей при експлуатації. Достатньою умовою для утворення хвилеподібних нерівностей рейок є експлуатація на ділянці колії однотипного рухомого складу у вузькому діапазоні швидкостей руху, що включає резонансні швидкості руху [1]. Методи боротьби з цим явищем пропонують за рахунок застосування розрахункових інтервалів оптимальних швидкостей руху, при яких відсутні резонансні швидкості. При цьому немає обґрунтування, чому такі заходи по зміні експлуатаційних умов системи конструкції верхньої та нижньої будов залізничної колії не призведуть до зміни характеристик у зазначеній системі і до тих же проблем, з якими проводилась боротьба.

Тому необхідно виконати дослідження процесу розповсюдження коливань при деформативній роботі систем конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії. Існує декілька основних теоретичних моделей для дослідження зазначених проблем: балка на півпросторі, балка на двошаровій основі, конструкція колії за канонами методу кінцевих або граничних елементів. Так в роботі [8] розглянуто піддатливість залізничних ліній за допомогою моделі балки на півпросторі та за допомогою методу кінцевих елементів. У роботі [16] порівняно розрахунки вібрацій у метрополітені, виконаних для моделі, що описана за методом граничних елементів, та за запропонованим методом «труба в трубі». У запропонованому методі тунель стіни та земля, що оточує її, моделюються у вигляді двох концентричних труб з використанням засад теорії пружності континууму. Роботи [10, 15] є продовженням напрямку твердотільних досліджень, що розвинуті завдяки удосконаленню характеристик, отриманих за експериментами та використанням методу кінцевих елементів. В роботі науковців універ-

ситету Лафборо (Великобританія) [13] зібрано аналіз отриманих емпіричних даних та надано оцінку моделей, що застосовуються при розрахунку коливань в основі колії від впливу рухомого складу, та рекомендації щодо подальшого коригування моделей.

Мета

Мета виконаних досліджень – визначити особливості деформативної роботи залізничної колії за рахунок встановлення меж стійкості рейкової колії залежно від конструкції і стану систем верхньої та нижньої будов колії, плану лінії для можливості формування нормативної бази з надійності та функціональної безпеки залізничної колії України.

Методика

Зі збільшенням подовжніх стискаючих сил в рейках відбувається збільшення запасу потенційної енергії. При певній величині стискання потенційна енергія, яка накопичується в рейках, стає настільки великою, що рейко-шпальна решітка в заданому положенні стає нестійкою. Наслідком цього може бути викид колії в сторону або вверх, який супроводжується звільненням «залишкової» потенційної енергії. За рахунок цієї енергії відбувається різкий вигин рейок, при якому долається вага рейко-шпальної решітки, опір баласту і інші фактори, завдяки чому енергія стискання зменшується. Її запас в рейках остаточно деформованої колії відповідає новому стану стійкої рівноваги між факторами протидії викривленню та стискаючий силі, яка має значно меншу величину.

Таким чином, розрахунок стійкості зводиться до визначення умов рівноваги стиснутої подовжніми силами рейко-шпальної решітки і величини останніх. Розрахунок виконано за повної формули з визначення критичної сили, запропонованої С. П. Першиним.

Умову рівноваги встановлюють виходячи з принципу можливих переміщень, прирівнюючи до нуля суму елементарних робіт на будь-якому можливому переміщенні:

$$\sum \frac{dA_i}{d\Delta f} = 0,$$

$$\sum dA_i = A_c + A_u + A_{\text{скр}} + A_{\text{бал}},$$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

де A_c – робота стискаючої сили P_t на кінцях викривлення з хордою l , початковою стрілою f_0 та прогином Δf при постійному коефіцієнті η_1 , який залежить від прийнятої форми викривлення:

$$A_c = -P_t \eta_1 \frac{\Delta f^2 + 2\Delta f f_0}{l},$$

де l – довжина хорди викривлення, якою замінюють довжину викривленої частини пліті, коливається в межах 300–1 600 см; Δf – стріла від додаткового прогину, що виникає під час появи стискаючих сил, коливається в межах 0,05–4 см; f_0 – стріла початкового викривлення, що характеризує стан колії, коливається в межах 0,1–0,4 см; A_u – робота вигину рейок

$$A_u = \eta_u \frac{EI \Delta f^2}{l^3},$$

де E – модуль пружності рейкової сталі, $2,1 \times 10^5$ МПа; I – момент інерції рейкошпальної решітки відносно горизонтальної; η_u – постійний коефіцієнт, який залежить від прийнятої форми викривлення; $A_{\text{бал}}$ – робота додання сил опору баласту:

$$A_{\text{бал}} = \eta'_c g_0 \Delta f l + \eta''_c c' \Delta f^2 l,$$

де η'_c та η''_c – постійні коефіцієнти, які залежать від прийнятої форми викривлення; c' – сила, що прикладена до одиниці довжини балки та викликає поперечне зміщення на одиницю; g_0 – сила, що прикладена до одиниці довжини балки та викликає подовжнє зміщення на одиницю; $A_{\text{скр}}$ – робота додання сил опору скріплень.

$$A_{\text{скр}} = \frac{2m_0}{a} \eta_1 \frac{\Delta f^2}{l},$$

де a – відстань між осями шпал: при епюрі 2 000 шт./км – 50 см, 1 840 шт./км – 54,30 см, 1 600 шт./км – 62,5 см; m_0 – реактивний момент, який залежно від затягування клеми при 11 кгс становить 13200 кг/см, при 22 кгс – 19 600 кг/см, при 33 кгс 26100 кг/см;

Розв'язання рівняння (1) надає залежності між силовими та геометричними факторами.

Стискаюча сила спочатку збільшується, досягаючи максимуму, а потім спадає, що відповідає викиду.

Підставляючи в формулу (1) вирази всіх робіт, отримуємо повну формулу. Повна формула для визначення значення сили має вигляд:

$$P = \left[48,446 \frac{EI \Delta f}{l^2} + 0,078 l^2 \xi_1 c \Delta f^n + \frac{2m_0}{a} \xi_2 l \left(\frac{\Delta f}{l} \right)^k \right] \times \frac{1}{\Delta f + f_0 + 0,078 \frac{l^2}{R}} \quad (1)$$

c – модуль деформації, тобто сила, що прикладена до одиниці довжини балки та викликає зміщення на одиницю, знаходять за формулою:

n – коефіцієнт, що виражає відношення повної довжини деформованої ділянки до довжини скривленої частини, коливається в межах 1/2...1/8; k – коефіцієнт, що враховує форму пружної балки, коливається в межах 1/2...1/8; ξ_1 , ξ_2 – емпіричні коефіцієнти, що залежать від значень n і k , значення яких наведено в табл. 1; R – радіус кривої.

Таблиця 1

Значення емпіричних коефіцієнтів

Table 1

The values of empirical coefficients

Величина постійних	Значення показників ступеня n та k		
	1/2	1/3	1/4
ξ_1	0,838	0,885	0,907
ξ_2	0,594	0,505	0,463

Закінчення табл. 1

End of table 1

Величина постійних	Значення показників ступеня n та k			
	1/5	1/6	1/7	1/8
ξ_1	0,925	0,936	0,948	0,953
ξ_2	0,444	0,432	0,421	0,413

Середній уклон початкової нерівності можна визначити за формулою:

$$i = \frac{f_0 l}{2}.$$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Для кожної конструкції та стану колії всі значення, що входять в формулу (1), є постійними, крім $l, \Delta f, f_0$. Таким чином, подовжня сила P є функцією $P_t = \varphi(\Delta f, f_0, l)$ і може бути подана як «сідловинна» поверхня, яка і є межею стійкості рейкової колії.

Результати

Зазвичай використовують значення подовжньої сили для визначення температурного інтервалу закріплення рейкової колії. Але подовжня сила може бути викликана не тільки змінами температурних деформацій, а й зміна-

ми жорсткісних деформацій. При певних деформаціях вигину досягається максимум стискаючої сили, що й характеризує критичний стан нестійкої рівноваги при певній довжині хорди викривлення. Але для кожного значення l існують свої значення максимальної стискаючої сили та відповідні до цього значення прогини $\Delta f, f_0$.

В табл. 2 наведено розрахунок значень стискаючої сили за методикою С.П. Першина прямої ділянки колії з рейками типу UIC60 при «справному» земляному полотні, тобто таким, що працює в пружній стадії.

Таблиця 2

Table 2

Значення стискаючої сили за повною методикою С.П. Першина
The value of compressive strength according to the full method of S. P. Pershyn

Довжина хорди викривлення, см	Стріла початкової нерівності, см	Стискаюча сила кН в умовах рівноваги при прогині, см									
		0,05	0,1	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
200	0,2	6 722	1 0079	15 545	19382	21 181	22 224	22 904	23 383	23 738	24 011
300	0,3	3 513	4 696	6 764	8384	9 202	9 695	10 023	10 258	10 433	10 569
400	0,4	2 922	3 496	4 441	5172	5 541	5 763	5 910	6 014	6 092	6 151
500	0,5	2 913	3 275	3 762	4062	4 185	4 246	4 279	4 298	4 309	4 316
600	0,6	3 093	3 377	3 660	3731	3 704	3 658	3 611	3 568	3 529	3 494
700	0,7	3 348	3 611	3 807	3749	3 624	3 503	3 396	3 304	3 225	3 156
800	0,8	3 638	3 908	4 074	4 489	4 242	4 018	3 825	3 660	3 519	3 397
900	0,9	4 589	4 922	5 099	4 879	4 584	4 313	4 077	3 874	3 700	3 548
1 000	1	4 984	5 353	5 563	5 331	5 004	4 696	4 425	4 189	3 984	3 804
1 100	1,1	5 385	5 796	6 050	5 822	5 474	5 138	4 837	4 572	4 340	4 135
1 200	1,2	5 790	6 245	6 552	6 341	5 980	5 622	5 296	5 006	4 749	4 521
1 300	1,3	6 198	6 700	7 065	6 878	6 512	6 137	5 790	5 477	5 198	4 948
1 400	1,4	6 608	7 157	7 586	7 429	7 063	6 676	6 311	5 978	5 679	5 409
1 500	1,5	7 019	7 618	8 111	7 991	7 629	7 233	6 854	6 504	6 185	5 897
1 600	1,6	7 432	8 079	8 641	8 560	8 206	7 805	7 414	7 048	6 713	6 408

Отже, визначення таких співвідношень за методикою С. П. Першина надає межі для формування нормативної бази з надійності колії з урахуванням її деформативних особливостей.

Та за умови використання методики розрахунку параметрів деформативності колії зі застосуванням теорії розповсюдження хвильового процесу під часу опису взаємодії колії та рухо-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

мого складу можна визначити, при яких геометричних, силових та швидкісних параметрах рухомого складу будуть мати місце отримані співвідношення.

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано теоретичні положення для розгляду деформативної стійкості системи конструкцій верхньої та нижньої будов колії, що порушуються рухомим складом. Це дозволить дослідити процес деформативної роботи зазначеної системи, при якому відбуваються зміни її станів протягом встановленого напруження. Отже, це дозволить визначити параметри функціональної надійності руху поїздів, як складової безпеки пропуску рухомого складу по ділянці колії з урахуванням її технічного стану.

Зазвичай для безпечного пропуску рухомого складу визначаються параметри процесу коливань системи «екіпаж – колія». Ці параметри нормовано інструкціями з улаштування та утримання рейкової колії. Але зміни нормативної бази залізничного транспорту за останні роки передбачають дотримання його функціональної безпеки, які в існуючих нормативах стосовно залізничної колії не враховані. Тому необхідно питання про оцінку впливу дії рухомого складу на колію розглядати як динамічний процес, критерії граничних станів якого зумовлені на підставі існуючих нормативів співвіднесених зі станами надійності, а на їх основі розробити критерії безпеки протягом всього життєвого циклу. При розгляді динамічного процесу коливання колії та рухомого складу необхідно враховувати деформативну стійкість колії. Це питання розглядалось тільки з точки зору зміни температурних деформацій. Це дослідження надає засади, на яких можна враховувати й жорсткісні деформації для можливості формування нормативної бази з надійності та функціональної безпеки залізничної колії України.

Висновки

Обізнаність в процесах взаємодії колії та рухомого складу призводить до розглядання нових задач. Одним з нових аспектів цього процесу є розв'язання задач надійності колії.

Складовою надійності колії є функціональна безпека колії. Таким чином, напрямок досліджень є актуальним, але таким, що потребує нового підходу при вирішенні поставленої проблеми.

При дослідженні процесу деформативності в елементах системи конструкцій верхньої та нижньої будов залізничної колії необхідно точно визначення цього процесу як в часі, так і в просторі. Таким чином необхідно не тільки правильно описати процес розповсюдження збуджень від рухомого складу, що протікає в зазначених елементах, а й мати оціночні критерії цього процесу. Основні положення щодо встановлення особливостей деформативної роботи залізничної колії полягають у такому:

- основним напрямком зміни нормативної бази залізничного транспорту за останні роки стало врахування питань з безпеки інфраструктури залізничного транспорту. Внесена зміна регламентує розгляд динамічного процесу зміни стану експлуатаційної надійності залізничної колії та класифікацію цього процесу за комплексною оцінкою положення рейкових ниток в плані і профілі, дефектів рейок, що впливають на їх форму, пружних властивостей колії, при відстеженні горизонтального і вертикального переміщень колеса щодо рейки і проміжок часу, протягом якого відбуваються ці переміщення. Критерії класифікації повинні повністю оцінювати стан залізничної колії відповідно до станів надійності;

- відсутність критеріїв за деформативними характеристиками складових частин верхньої і нижньої будов призводить, по-перше, до нерівнопружності залізничної колії по протязі, по-друге, до неможливості забезпечення на всіх ділянках залізничних ліній існуючих нормативних значень параметрів напружено-деформованого стану та ресурсу, по-третє, до незабезпечення вимог безпечної експлуатації протягом життєвого циклу. Таким чином, існуючі методи і методики оцінки показників впливу рухомого складу на колію не забезпечують свого головного призначення: забезпечення експлуатаційної надійності підсистем інфраструктур;

- введення оцінки деформативних параметрів, які враховують жорсткісну стійкість колії на підставі застосування співвідношень, отриманих за методикою С. П. Першина, до-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

звolyають сформувати нормативну базу з надійності та функціональної безпеки залізничної колії України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алижан, А. Исследование влияния волнообразных неровностей поверхности качения рельсов на динамику рельсовых экипажей / А. Алижан, Е. Г. Адильханов // Вестн. Казах. акад. трансп. и коммуникации им. М. Тынышпаева. – Алматы, 2008. – № 6. – С. 80–86.
2. Веричев, С. Н. Математические методы исследования устойчивости объекта, движущегося по упругой направляющей / С. Н. Веричев // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. – Нижний Новгород, 2008. – № 4. – С. 117–121.
3. Використання цифрової виміральної техніки для експериментальних досліджень взаємодії колії і рухомого складу / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган, О. М. Патласов, В. Є. Савлук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 37. – С. 124–128.
4. Касимов, Б. Р. Методика прогнозирования состояния путевой безопасности / Б. Р. Касимов // Промышл. трансп. Казахстана. – Алматы, 2014. – № 1. – С. 19–23.
5. Корнилов, С. Н. Результаты экспериментального изучения прочностных характеристик барханных песков, слагающих железнодорожное земляное полотно / С. Н. Корнилов, Ш. Ш. Абдукамилов // Вестн. Магнитог. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова. – Магнитогорск, 2015. – Вып. 1. – С. 105–110.
6. Суворова, Т. В. К расчету волнового поля, возбуждаемого встречными осциллирующими нагрузками в гетерогенном полупространстве / Т. В. Суворова, С. А. Усошин // Транспорт. – 2011 : тр. Всерос. науч.-практ. конф. – Москва, 2011. – Ч. 1. – С. 17–19.
7. Advancements in Noise and Vibration Abatement to Support the Noise Reduction Strategy of Deutsche Bahn / B. Schulte-Werning, B. Asmussen, W. Behr [et al.] // Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems. – 2012. – Vol. 118. – P. 9–16. doi: 10.1007/978-4-431-53927-8_2.
8. Auersch, L. The Influence of the Soil on Track Dynamics and Ground-Borne Vibration / L. Auersch // Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems. – 2008 – Vol. 99. – P. 122–128. doi: 10.1007/978-3-540-74893-9_17.
9. Field monitoring on the train-induced vibration response of track structure in the Beiluhe permafrost region along Qinghai–Tibet railway in China / X.-Zh. Ling, S.-J. Chen, Zh.-Y. Zhu [et al.] // Cold Regions Science and Technology. – 2010. – Vol. 60. – Iss. 1. – P. 75–83. doi: 10.1016/j.coldregions.2009.08.005.
10. Ground-Borne Vibration due to Railway Traffic: A Review of Excitation Mechanisms, Prediction Methods and Mitigation Measures / G. Lombaert, G. Degrande, S. Francois, D. J. Thompson // Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems. – 2008. – Vol. 126. – P. 253–287. doi: 10.1007/978-3-662-44832-8_33.
11. Lakušić, S. Rail traffic noise and vibration mitigation measures in urban areas / S. Lakušić, M. Ahac // Technical Gazette. – 2012. – Vol. 19. – Iss. 2. – P. 427–435.
12. Planning and Controlling Railway Noise in a Metropolis: Our Practical Experience / B. Lee, W. Chau, J. Lam, M. Yeung // Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems. – 2012. – Vol. 118. – P. 17–23. doi: 10.1007/978-4-431-53927-8_3.
13. Procedures for estimating environmental impact from railway induced vibration : a review / J. Aveliz, C. Skinner, M. Frost [et al.] // ASME Proc. Noise Control And Acoustic Division Conference at InterNoise 2012 (19.08.–22.08. 2012). – New York, 2012. – P. 381–392. doi: 10.1115/ncad2012-1083.
14. Rail and Contact Line Inspection Technology for Safe and Reliable Railway Traffic / T. Hisa, M. Kanaya, M. Sakai, K. Hamaoka // Hitachi Review. – 2012. – Vol. 61, № 7. – P. 325–330.
15. Thompson, D. Railway noise and vibration: the use of appropriate models to solve practical problems / D. Thompson // 21st Intern. Congress on Sound and Vibration (13.07–17.07. 2014). – Beijing, China. – 2014. – P. 1–16.
16. Using the PiP Model for Fast Calculation of Vibration from a Railway Tunnel in a Multi-layered Half-Space / M. F. M. Hussein, H. E. M. Hunt, L. Rikse [et al.] // Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems. – 2008. – Vol. 99. – P. 136–142. doi: 10.1007/978-3-540-74893-9_19.

И. А. БОНДАРЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, эл. почта irina_bondarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4717-30

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАТИВНОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Цель. В исследовании главной целью является определение особенности деформационной работы железнодорожного пути за счет установления границ устойчивости рельсового пути, в зависимости от конструкции и состояния систем верхнего и нижнего строений пути, плана линии для возможности формирования нормативной базы по надежности и функциональной безопасности железнодорожного пути Украины. **Методика.** Для достижения цели использована полная методика С. П. Першина по определению критических значений сжимающей силы. **Результаты.** Автором установлено, что соотношения минимальных значений сжимающей силы при определенных деформациях изгиба могут быть применены как оценочные условия деформационной устойчивости пути и основы для формирования базы по надежности и функциональной безопасности железнодорожного пути Украины. **Научная новизна.** Предложены теоретические положения для рассмотрения деформационной устойчивости системы конструкций верхнего и нижнего строений пути. Это позволит исследовать процесс деформационной работы указанной системы, при котором происходят изменения ее состояний в течение некоторой наработки. Так что, это позволит определить параметры функциональной надежности движения поездов как составляющей безопасности пропуска подвижного состава по участку пути с учетом его технического состояния. **Практическая значимость.** Обычно для безопасного пропуска подвижного состава определяются параметры процесса колебаний системы «экипаж – путь». Эти параметры нормированы инструкциями по устройству и содержанию рельсового пути. Изменения нормативной базы железнодорожного транспорта за последние годы предусматривают соблюдение его функциональной безопасности, которые в существующих нормативах железнодорожного пути не учтены. Поэтому необходимо вопрос об оценке влияния воздействия подвижного состава на путь рассматривать как динамический процесс, критерии предельных состояний которого обусловлены на основании существующих нормативов, соотнесенных с состояниями надежности, а на их основе разработать критерии по безопасности в течение всего жизненного цикла. При рассмотрении динамического процесса колебания пути и подвижного состава необходимо учитывать деформативную устойчивость пути. Этот вопрос рассматривался только с точки зрения изменения температурных деформаций. Данное исследование предоставляет основы, при которых можно учитывать и жесткостные деформации для возможности формирования нормативной базы по надежности и функциональной безопасности железнодорожного пути Украины.

Ключевые слова: деформативная работа пути; устойчивость пути; надежность пути

I. O. BONDARENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 373 15 42, e-mail irina_bondarenko@ua.fm, ORCID 0000-0003-4717-30

FEATURES OF THE DEFORMATION WORK OF THE RAILWAY TRACK

Purpose. The purpose of study is to identify the features of the railway track work deformation by establishing the boundaries of the track sustainability depending on the design and condition of systems of the upper and lower track structure, plan of a line for the possibility of forming a regulatory framework for reliability and functional safety of railway track in Ukraine. **Methodology.** The complete method of S. P. Pershyn of determination the critical values of compressive strength was used for the achievement of the purpose. **Findings.** The author found that the ratio of the minimum values of compressive force under the certain bending deformation can be used as evaluation conditions of the track deformation resistance and basis for formation the base of reliability and functional safety of the Ukrainian

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

railway track. **Originality.** The theoretical position for the consideration the deformation stability of the upper and lower track structure were proposed. It will allow studying the process of deformation work of the system, which changes its state during a particular operating time. Thus, it allows determining the parameters of the functional reliability of the train as a part of security pass of the rolling stock on the track, accounting its technical condition. **Practical value.** Usually for the safe passage of rolling stock the parameters of the oscillations of the «vehicle – track» are determined. These parameters are normalized with the instructions on design and maintenance of the railway track. Changes in the regulatory framework of rail transport in recent years provide the observance of its functional safety that are not included in the existing regulations of the railway track. Therefore it is necessary the issue of effect impact assessment of the rolling stock on the track to consider as a dynamic process, limit states criteria of which are determined on the basis of existing norms, correlated with the reliability states, and to develop criteria for security throughout the life cycle on their basis. At considering the dynamic process of track oscillation and rolling stock must take into account the deformation resistance of the track. This issue was addressed only in terms of changes in temperature deformations. This study provides a basis at which it is possible to take into account the stiffness of deformation for the ability of regulatory framework formation for reliability and functional safety of railway track in Ukraine.

Keywords: track deformation work; track sustainability; track reliability

REFERENCES

1. Alizhan A., Adilkhanov Ye.G. Issledovaniye vliyaniya volnoobraznykh nerovnostey poverkhnosti kacheniya relsov na dinamiku relsovykh ekipazhey [Research of wave-like irregularities influence on the rolling surface of rails for rail vehicles dynamics]. *Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsii im. M. Tynyshpayeva* [Bulletin of Kazakhstan Transport and Communications Academy named after M. Tynyshpayev], 2008, no. 6, pp. 80-86.
2. Verichev S.N. Matematicheskiye metody issledovaniya ustoychivosti obekta, dvizhushchegosya po uprugoy napravlyayushchey [Mathematical methods of research the stability of an object moving along the elastic guide]. *Vestnik Nizhegorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo* [Bulletin of Lobachevsky State University of Nizny Novgorod], 2008, no. 4, pp. 117-121.
3. Bondarenko I.O., Kurhan D.M., Patlasov O.M., Savluk V.Ye. Vykorystannia tsyfrovoy vymiriuvalnoi tekhniki dlia eksperymentalnykh doslidzhen vzaємodii kolii i rukhomoho skladu [Using of digital instrumentation equipment for experimental researches of track and rolling stock interaction]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 37, pp. 124-128.
4. Kasimov B.R. Metodika prognozirovaniya sostoyaniya putevoy bezopasnosti [Methods of predicting the state of the track safety]. *Promyshlennyy transport Kazakhstana – Industrial Transport of Kazakhstan*, 2014, no. 1, pp. 19-23.
5. Kornilov S.N., Abdukamilov Sh.Sh. Rezultaty eksperimentalnogo izucheniya prochnostnykh kharakteristik barkhannykh peskov, slagayushchikh zheleznodorozhnoye zemlyanoye polotno [The results of experimental study of the strength characteristics of dune sands composing the railway roadbed]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Bulletin of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2015, issue 1, pp. 105-110.
6. Suvorova T.V., Usoshin S.A. K raschetu volnovogo polya, vzbuzhdayemogo vstrechnymi ostsilliruyushchimi nagruzkami v geterogennom poluprostranstve [To the calculation of the wave field excited by an oscillating counter-pressure loads in heterogeneous half-space]. *Transport–2011: trudy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Transport–2011: Proc. of All-Russian Scientific and Practical Conf.], Moscow, 2011, p. 1, pp. 17-19.
7. Schulte-Werning B., Asmussen B., Behr W., Degen K.G., Garburg R. Advancements in Noise and Vibration Abatement to Support the Noise Reduction Strategy of Deutsche Bahn. *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems*, 2012, vol. 118, pp. 9-16. doi: 10.1007/978-4-431-53927-8_2.
8. Auersch L. The Influence of the Soil on Track Dynamics and Ground-Borne Vibration. *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems*, 2008, vol. 99, pp. 122-128. doi: 10.1007/978-3-540-74893-9_17.
9. Ling X.-Zh., Chen S.-J., Zhu Zh.-Y., Zhang F., Wang L.-N., Zou Z.-Y. Field monitoring on the train-induced vibration response of track structure in the Beiluhe permafrost region along Qinghai–Tibet railway in China. *Cold Regions Science and Technology*, 2010, vol. 60, issue 1, pp. 75-83. doi: 10.1016/j.coldregions.2009.08.005.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

10. Lombaert G., Degrande G., Francois S., Thompson D.J. Ground-Borne Vibration due to Railway Traffic: A Review of Excitation Mechanisms, Prediction Methods and Mitigation Measures. *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems*, 2008, vol. 126, pp. 253-287. doi: 10.1007/978-3-662-44832-8_33.
11. Lakušić S., Ahac M. Rail traffic noise and vibration mitigation measures in urban areas. *Technical Gazette*, 2012, vol. 19, issue 2, pp. 427-435.
12. Lee B., Chau W., Lam J., Yeung M. Planning and Controlling Railway Noise in a Metropolis: Our Practical Experience. *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems*, 2012, vol. 118, pp. 17-23. doi: 10.1007/978-4-431-53927-8_3.
13. Avillez J., Frost M., Cawser S., Skinner C., El-Hamalawi A., Shields P. Procedures for estimating environmental impact from railway induced vibration: a review. ASME Proc. Noise Control And Acoustic Division Conference at InterNoise 2012 (19.08.–22.08. 2012). New York, 2012, pp. 381-392. doi: 10.1115/ncad2012-1083.
14. Hisa T., Kanaya M., Sakai M., Hamaoka K. Rail and Contact Line Inspection. Technology for Safe and Reliable Railway Traffic. *Hitachi Review*, 2012, vol. 61, no. 7, pp. 325-330.
15. Thompson D. Railway noise and vibration: the use of appropriate models to solve practical problems. 21st Intern. Congress on Sound and Vibration (13.07–17.07. 2014), Beijing, China, 2014, pp. 1-16.
16. Hussein M.F.M., Hunt H.E.M., Rikse L., Gupta S., Degrande G., Talbot J.P., François S., Schevenels M. Using the PiP Model for Fast Calculation of Vibration from a Railway Tunnel in a Multi-layered Half-Space. *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems*, 2008, vol. 99, pp. 136-142. doi: 10.1007/978-3-540-74893-9_19.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна), д.т.н., проф. Д. В. Лаухіним (Україна)

Надійшла до редколегії 18.07.2015

Прийнята до друку 21.09.2015

УДК 625.1.033.3

В. П. ВЕЛІНЕЦЬ^{1*}

^{1*}Каф. «Залізнична колія та колійне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту,
вул. М. Лукашевича, 19, Київ, Україна, 03049, тел. +38 (044) 591 51 47, ел. пошта velinets@hotmail.com,
ORCID 0000-0002-5438-5378

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ПОПЕРЕЧНОЇ ЖОРСТКОСТІ РЕЙКОВИХ НИТОК ПРИ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЯХ РЕЙКОВИХ СКРІПЛЕНЬ

Мета. Розрахунок залізничної колії на міцність є одним із складних розділів загальної проблеми дослідження взаємодії колії та рухомого складу. В статті описано експериментальні дослідження горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток при різних конструкціях рейкових скріплень. Матеріали даної статті мають бути актуальними і дадуть можливість виконувати розрахунки залізничної колії на міцність із застосуванням правильних і відкоригованих характеристик горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток. **Методика.** Визначення горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток при різних конструкціях рейкових скріплень було проведено шляхом вимірювань величин поперечних переміщень розрахункових точок рейки, а саме – головки й підшви. Для проведення досліджень було створено спеціальне обладнання, яке складалось з колійного домкрата ДК-20, обладнаного гідравлічним манометром для вимірювання тиску, та жорсткої горизонтальної штанги для упору в рейкову нитку, протилежну від домкрата. Бокові переміщення головки і підшви рейки фіксувались та вимірювались індикаторами годинникового типу з точністю до сотих часток міліметра. Горизонтальне поперечне навантаження на рейку створювалось домкратом шляхом нагнітання тиску в робочому циліндрі, що фіксувалось манометром, вбудованим у тіло домкрата. Навантаження рейки проводилось ступенями через 2 т в інтервалі від 0 до 8 т. Для отримання достовірних результатів вимірювання бокового переміщення головки та підшви рейки проводилось для кожного типу скріплень не менше, ніж в 3 перерізах. Вимірювання проводились без створення вертикального навантаження. **Результати.** За допомогою розробленої методики було знайдено величини поперечних переміщень розрахункових точок рейки при різних конструкціях рейкових скріплень. **Наукова новизна.** За експериментальними дослідженнями вперше були знайдені значення горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток по головці та підшви для різних сучасних конструкцій рейкових скріплень. **Практична значимість.** Знайдені авторами значення характеристик горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток по головці і підшви для різних сучасних конструкцій рейкових скріплень дають можливість виконувати розрахунки залізничної колії на міцність із використанням правильних та відкоригованих значень цих характеристик.

Ключові слова: залізнична колія; рейка; жорсткість рейкової нитки; переміщення

Вступ

Найважливішими розрахунковими параметрами залізничної колії є характеристики просторової пружності рейкових, які характеризують здатність опору рейкових ниток зовнішнім силовим впливам. Вивчення характеристик просторової пружності рейкових ниток необхідне для розв'язання задач з розрахунку рейок на міцність в повній постановці, тобто при спільній дії на колію вертикальних і горизонтальних сил. При повній постановці аналітичного розв'язання задачі необхідно з достатньою точністю враховувати дію на рейкову нитку всіх зовнішніх сил і при цьому

спільно розглядати виникаючі в рейковій нитці деформації: вертикальний і горизонтальний вигин рейкової нитки і її кручення.

До характеристик просторової жорсткості рейкової нитки відносять жорсткості у вертикальній і горизонтальній площині і жорсткості рейкової нитки при крученні та пов'язані із ними функціонально модулі пружності вертикальній і горизонтальній площині і модуль пружності при крученні.

Враховуючи те, що головними зовнішніми діючими силами на рейкову нитку є вертикальна і горизонтальна динамічні сили ($P_{\text{дин}}$; $H_{\text{дин}}$), які передаються від колеса на рейку, а також беручи до уваги те, що методика інженерних

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

розрахунків на міцність під дією вертикальних динамічних сил $P_{\text{дин}}$ достатньо детально розроблена і описана в довідкових виданнях [6, 7], в цій статті йтиметься про визначення характеристик жорсткості рейкової нитки β_y .

У затвердженій методиці інженерних розрахунків колії на міцність [7] вплив на роботу рейки горизонтальних динамічних сил враховується не безпосередньо, а опосередковано – тільки через застосування коефіцієнтів впливу, які взяті із експериментальних досліджень і в багатьох випадках не мають точного підтвердження для конкретних розрахунків. Тому вивчення характеристик горизонтальної поперечної жорсткості β_y є надзвичайно важливим.

Мета

В статті описано експериментальні дослідження горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток при різних конструкціях рейкових скріплень. Отримані значення жорсткості рейкових ниток дадуть можливість виконувати розрахунки залізничної колії на міцність із використанням правильних і відкоригованих даних.

Методика

Огляд і аналіз наукових праць, які виконані вченими в галузі вивчення характеристик вертикальної жорсткості і характеристик горизонтальної поперечної та поздовжньої жорсткості рейкової нитки, свідчить про те, що для визначення цих характеристик було приділено велику увагу.

У великій кількості існуючих досліджень характеристики вертикальної жорсткості розглядалися окремо від характеристик горизонтальної поперечної та поздовжньої жорсткості рейкової нитки [1, 2, 5]. У деяких із праць характеристики горизонтальної і вертикальної жорсткості подані разом [8].

В процесі експериментальних досліджень, виконаних різними науково-дослідними організаціями і вузами залізничного транспорту, були досліджені характеристики жорсткості рейкових ниток, які наведені у спеціальній довідковій літературі і в нормативних документах [1, 3, 5, 6, 11, 12, 13, 14] (див. табл. 1).

Ці дані використовуються в наш час всіма дослідниками з проблем взаємодії колії і рухомого складу, а також при розрахунках колії на міцність і стійкість.

Таблиця 1

**Значення жорсткості рейкової нитки β_y
для різних конструкцій колії**

Table 1

**The value of the stiffness of the rail thread β_y
for different designs of a track**

Конструкція колії	Тип рейки	Кількість шпал на 1 км	Тип скріплення	Горизонтальна поперечна жорсткість рейкової нитки, кН/мм	
				отримані значення	
				$\beta_{y(\text{ср})}^{\text{гол}}$	$\beta_{y(\text{ср})}^{\text{під}}$
Колія на залізобетонних шпалах	Р65	1 840	КБ	17–23 [3]	37–58 [3]
				18,7 [10]	45,4 [3]
					64,9 [10]
			ЖБ	8–12 [3]	25–40 [3]
				12,0 [10]	31,6 [3]
					19,5 [10]
Колія на дерев'яних шпалах	Р65	1 840	ДО	16–22 [3]	32–48 [3]
		1 920		19,2 [10]	35,0 [3]
		2 000			43,5 [10]
	Р50	1 600	ДО	12,6 [5]	25,2 [5]
		1 840		13,5 [5]	27,0 [5]
		1 920		13,8 [5]	27,6 [5]
	Р43	2000	ДО	-	-
		1 600		10,9 [5]	21,8 [5]
		1 840		11,8 [5]	23,6 [5]
		1 920		12,1 [5]	24,2 [5]
		2 000		-	-

Однак, по-перше, треба зазначити, що наведена довідкова література була розроблена 40–50 років тому на підставі аналізу старих конструкцій верхньої будови колії і конструкцій скріплень, що застосовувались на той час, тому використання застарілих довідкових даних для сучасних конструкцій колії і рейкових скріплень не є правильним; по-друге, аналіз багатьох досліджень з визначення пружно-динамічних параметрів колії, що виконані за

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

останні 50 років, дає дуже великий і неоднозначний спектр результатів щодо різних аналізованих конструкцій залізничної колії; по-третє, як з'ясувалось, натурна жорсткість рейкових ниток відрізняється від розрахункових значень, які зазвичай приймаються для розрахунків колії на міцність і стійкість. Таким чином, постає питання про коректність використання існуючих застарілих розрахункових даних для реального розрахунку колії на міцність і стійкість.

На кафедрі «Залізнична колія та колійне господарство» ДЕТУТ автором під керівництвом проф. Е. І. Даніленка було розроблено методику досліджень для визначення горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток шляхом вимірювань величин поперечних переміщень розрахункових точок рейки, а саме: головки і підшви рейки. Дослідження були виконані на ділянках з проміжними скріпленнями типів КБ, КПП-5, КПП-1, СБ-3, Д0. Для виконання експериментальних досліджень були обрані рейкові пліти в діючій колії із наступними технічними параметрами:

- тип рейки – Р65, Р50;
- тип шпали – залізобетонні і дерев'яні;
- тип проміжного скріплення: при залізобетонних шпалах – КБ, КПП-5, КПП-1, СБ-3; при дерев'яних шпалах – Д0.

Вимірювання виконувались в 2014–2015 рр. протягом 6 місяців на ділянках колії, які знаходяться на території ДТГО «Південно-Західна залізниця», а саме на головних коліях в межах станцій: ст. Київ–Волинський; ст. Вишневе; ст. Київ–Пасажирський; ст. Протасів Яр; ст. Київ–Московський.

При дослідженнях визначали поперечну горизонтальну жорсткість рейкових ниток по головці і підшві, для чого відслідковували величину поперечних переміщень кромки головки і підшви рейки у фіксованих перерізах, де прикладалась поперечна горизонтальна сила.

Для виконання досліджень було створено спеціальне обладнання, яке складалось з колійного домкрата ДК-20, обладнаного гідравлічним манометром для вимірювання тиску, і жорсткої горизонтальної штанги для упору в рейкову нитку, протилежну від домкрата. Бокові переміщення головки і підшви рейки фіксувались і вимірювались індикаторами годиннико-

вого типу з точністю до сотих часток міліметра.

Загальний вигляд розстановки приладів при виконанні досліджень з вимірювання поперечної горизонтальної жорсткості рейкових ниток наведений на рис. 1 і 2.



Рис. 1. Загальний вигляд розстановки приладів

Fig. 1. General view of the devices alignment

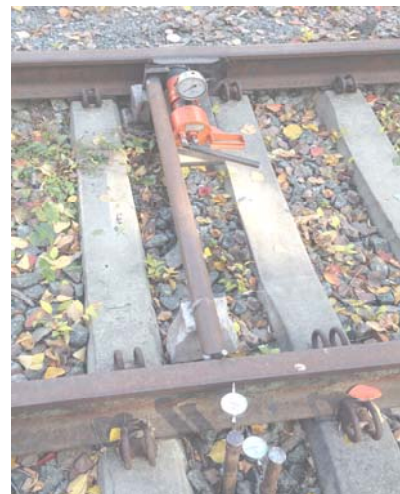


Рис. 2. Загальний вигляд розстановки приладів (в перерізі вимірювань)

Fig. 2. General view of the devices alignment (a section measurements)

Горизонтальне поперечне навантаження на рейку створювалось домкратом шляхом нагнітання тиску в робочому циліндрі, що фіксувалось манометром, вбудованим в тіло домкрата. Навантаження рейки виконувалось ступенями через 2 т в інтервалі від 0 до 8 т. Для отримання достовірних результатів вимірювання бокового переміщення головки і підшви рейки виконувалось для кожного типу скріплень не менше ніж в трьох перерізах.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Вимірювання виконувались без створення вертикального навантаження.

До початку досліджень манометр горизонтального тиску був протарований в лабораторії інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України.

Слід сказати, що залежність горизонтальних переміщень головки і підшви рейки від горизонтального навантаження є істотно нелінійною, тому що спочатку відбувається вибірка люфтів в деталях кріплення рейки до шпали і тільки на другому етапі (приблизно після прикладеного навантаження $H=40$ кН і більше) відбувається саме бокове переміщення рейкової нитки від дії горизонтальної сили. Тому при аналізі і обробці матеріалів експериментальних досліджень при визначенні горизонтальної бокової жорсткості рейкових ниток приймалися до статистичної обробки тільки результати замірів бокових прогинів головки і підшви рейки ($y_{\text{гол}}; y_{\text{під}}$), які були отримані при дії бокових сил $H=40,60,80$ кН. В результаті в остаточну таблицю (табл. 2) заносились середні значення бокових переміщень головки і підшви рейки, отримані по трьох перерізах ($y_{\text{гол}}^{\text{cp}}; y_{\text{під}}^{\text{cp}}$). Бокову поперечну жорсткість рейкових ниток знаходили при відсутності вертикальної сили P і визначали відповідно до існуючої методики [1, 9], як відношення прикладеної до рейки сили $H_{\text{бок}}$ до поперечного переміщення:

$$\begin{aligned} \beta_{y_{\text{гол}}}^{\text{гол}} &= H / y_{\text{гол}}^{\text{cp}}; \\ \beta_{y_{\text{під}}}^{\text{під}} &= H / y_{\text{під}}^{\text{cp}}. \end{aligned} \quad (1)$$

Нижче в табл. 2 наведені результати вимірювань пружних горизонтальних переміщень головки і підшви рейок Р65 ($y_{\text{гол}}^{\text{cp}}; y_{\text{під}}^{\text{cp}}$) при різних значеннях горизонтальної бокової сили H , а також при різних типах рейкових скріплень і різних видах шпал, укладених із епурою 1 840 шт/км.

В тій же табл. 2 наведені значення горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток, які визначені за формулами (1). Як наслідок, за результатами вимірювань бокових переміщень рейкових ниток по головці і підшві при дії бокових сил $H=40,60,80$ кН (тобто без урахування деформацій рейок, що витрачаються на вибірку люфтів в деталях скріплень) визначались осереднені значення

жорсткості рейкових ниток по головці і підшві ($\beta_{y_{\text{cp}}}^{\text{гол}}; \beta_{y_{\text{cp}}}^{\text{під}}$), як середнє арифметичне значення від замірів не менше ніж в трьох перерізах, при різних значеннях бокових сил за формулою (2).

$$\left. \begin{aligned} \beta_{y_{\text{cp}}}^{\text{гол}} &= \frac{\sum (\beta_{y(P=40)}^{\text{гол}} + \beta_{y(P=60)}^{\text{гол}} + \beta_{y(P=80)}^{\text{гол}})}{3} \\ \beta_{y_{\text{cp}}}^{\text{під}} &= \frac{\sum (\beta_{y(P=40)}^{\text{під}} + \beta_{y(P=60)}^{\text{під}} + \beta_{y(P=80)}^{\text{під}})}{3} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Діапазон бокових сил $H=40,60,80$ кН при визначенні бокової жорсткості рейкових ниток розглядався як найбільш реальний діапазон цих сил, що реалізуються при динамічній взаємодії рухомого складу і колії.

Результати

За допомогою розробленої методики було знайдено величини поперечних переміщень розрахункових точок рейки при різних сучасних конструкціях рейкових скріплень і визначено горизонтальну поперечну жорсткість рейкових ниток за розробленою методикою. Результати наведені в табл. 2.

Наукова новизна та практична значимість

За експериментальними дослідженнями вперше були знайдені значення горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток по головці і підшві для різних сучасних конструкцій рейкових скріплень. Знайдені значення горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток по головці і підшві для різних конструкцій рейкових скріплень дають можливість виконувати розрахунки залізничної колії на міцність із використанням правильних і відкоригованих характеристик.

Висновки

В цілому за експериментальними дослідженнями встановлено значення горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток при різних типах рейкових скріплень. Матеріали цієї статті є актуальними і дадуть можливість виконувати розрахунки залізничної колії на міцність із застосуванням правильних і відкоригованих характеристик просторової жорсткості.

Таблиця 2

Результати вимірювань

Table 2

Measurement results

Тип ВБК			Бокова сила H , кН	Переміщення го- ловки і підшви рейки, мм		Горизонтальна поперечна жорсткість рейкових ниток, кН/мм			
Тип шпал	Тип рейкових скріплень	Тип рейки		$y_{\text{гол}}^{\text{ср}}$	$y_{\text{під}}^{\text{ср}}$	$\beta_y^{\text{гол}}$	$\beta_{y(\text{ср})}^{\text{гол}}$	$\beta_y^{\text{під}}$	$\beta_{y(\text{ср})}^{\text{під}}$
Залізобетонні шпали, 1 840 шт/км	КБ	Р-65	0	0	0	0	0	0	0
			40	2,04	1,01	19,41		39,71	
			60	3,54	1,54	16,93	17,71	38,84	38,92
			80	4,77	2,09	16,78		38,21	
	КБ	Р-50	–	–	–	–	12,68	–	31,41
			0	0	0	0	0	0	0
			20	1,04	0,25	19,29		80,01	
			40	2,14	0,51	18,68	18,80	77,80	72,44
	КПП-5	Р-65	60	3,17	0,90	18,91		66,60	
			80	4,37	1,23	18,32		65,26	
			0	0	0	0	0	0	0
			20	1,09	0,28	18,30		70,90	
	КПП-1	Р-65	40	2,25	0,58	17,74	17,87	69,26	68,27
			60	3,36	0,92	17,84		64,66	
			80	4,54	–	17,61		–	
	СБ-3	Р-65	0	0	0	0	0	0	0
			60	4,49	1,39	13,35	14,20	43,19	51,00
			80	5,31	1,36	15,06		57,87	
Дерев'яні шпали, 1 840 шт/км	Д0	Р-65	–	–	–	–	19,20*	–	35,73***
		Р-50	–	–	–	–	13,50**	–	27,00**
		Р-43	–	–	–	–	11,80**	–	23,60**

* – за даними ВНДІЗТ

** – за даними проф. О. П. Єршкова [5]

*** – по перерахунку від жорсткості Р50 прийнятої за даними проф. О. П. Єршкова [2, 5]

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бесстыковой путь / под ред. В. Г. Альбрехта, Е. М. Бромберга. – Москва : Транспорт, 1982. – 204 с.
- Бондаренко, И. А. К вопросу об определении модуля упругости пути в вертикальной плоскости / И. А. Бондаренко // 36. науч. пр. Київського ун-ту економіки і технологій трансп. Сер. : Трансп. системи і технології. – Київ, 2004. – Вип. 5. – С. 14–25.
- Вериго, М. Ф., Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. – Москва : Транспорт, 1984. – 559 с.
- Ершков, О. П. Расчет рельса на действие боковых сил в кривых / О. П. Ершков // Тр. ВНИИЖТа. – Москва, 1940. – Вып. 192. – С. 5–59.
- Ершков, О. П. Характеристики пространственной упругости рельсовой нити / О. П. Ершков // Тр. ВНИИЖТа. – Москва, 1940. – Вып. 192. – С. 59–101.
- Даніленко, Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом : підручник для вищ. навч. закл. : у 2 т. / Е. І. Даніленко. – Київ : Інпрес, 2010. – 2 т.
- Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість / під ред. Е. І. Даніленко. – Київ : Транспорт України, 2004. – 148 с.
- Тимошенко, С. П. Метод исследований статических и динамических напряжений в рельсе / С. П. Тимошенко // Статист. и динам. проблемы теории упругости. – Киев : Наук. думка, 1975. – С. 209–220.
- Тимошенко, С. П. Напряжения в железнодорожном рельсе / С. П. Тимошенко // Статист. и динам. проблемы теории упругости. – Киев : Наук. думка, 1975. – С. 318–355.
- Уманов, М. И. Исследования напряженно-деформированного состояния пути со скреплением КПП / М. И. Уманов, В. В. Ковалев, С. Н. Сова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2. – С. 101–105.
- Experimental study on the transverse stiffness of WJ-8 rail fastening / C. Liu, Zh. Zeng, B. Wu [et al.] // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 596. – P. 3–6. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.596.3.
- Quantification of Lateral Forces in Concrete Sleeper Fastening Systems Under Heavy Haul Freight Loads [Електронний ресурс] / D. E. Holder, B. A. Williams, M. S. Dersch [et al.] // 11th Intern. Heavy Haul Association Conf. (21.06.–24.06.2015). – Perth, Australia, 2015. – Режим доступу: http://railtec.illinois.edu/articles/Files-Conference%20Proceedings/2015/IHHA%202015%20Paper%20219%20Holder_Final.pdf. – Назва з екрана. – Перевірено : 4.11.2015.
- Tests on lateral resistance in railway tracks during the operation of a tamping machine / W. Koc, A. Wilk, P. Chrostowski, S. Grulkowski // Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: J. of Rail and Rapid Transit. – 2011. – Vol. 225. – Iss. 3. – P. 325–340. doi: 10.1243/09544097jrrt324.
- Wayside system for wheel–rail contact forces measurements / D. Milkovic', G. Simic', Z'. Jakovljevic' [et al.] // Measurement. – 2013. – Vol. 46. – P. 3308–3318. doi: 10.1016/j.measurement.2013.06.017.

В. П. ВЕЛИНЕЦ^{1*}

^{1*}Каф. «Железнодорожный путь и путевое хозяйство», Государственный экономико-технологический университет транспорта, ул. Н. Лукашевича, 19, Киев, Украина, 03049, тел. +38 (044) 591 51 47, эл. почта velinets@hotmail.com, ORCID 0000-0002-5438-5378

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ЖЕСТКОСТИ РЕЛЬСОВЫХ НИТЕЙ ПРИ РАЗНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

Цель. Расчет железнодорожного пути на прочность является одним из сложных разделов общей проблемы исследования взаимодействия пути и подвижного состава. В статье описаны экспериментальные исследования горизонтальной поперечной жесткости рельсовых нитей при разных конструкциях рельсовых скреплений. Материалы данной статьи должны быть актуальными и дадут возможность выполнять расчеты железнодорожного пути на прочность с применением правильных и откорректированных характеристик гори-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

зонтальної поперечної жорсткості рельсових нитей. **Методика.** Визначення горизонтальної поперечної жорсткості рельсових нитей при різних конструкціях рельсових скріплень було проведено шляхом вимірювання величин поперечних переміщень розрахункових точок рельса, а саме – головки і подошви. Для проведення досліджень було створено спеціальне обладнання, яке складалося з путівного домкрата ДК-20, обладнаного гідравлічним манометром для вимірювання тиску, і жорсткої горизонтальної штанги для упору в рельсову нить, протилежну до домкрата. Бокові переміщення головки і подошви рельса фіксувалися і вимірювалися індикаторами часового типу з точністю до сотих долей міліметра. Горизонтальна поперечна навантаження на рельс створювалася домкратом шляхом нагнітання тиску в робочому циліндрі, фіксувалося манометром, вбудованим в тіло домкрата. Навантаження рельса проводилося ступінчато через 2 т в інтервалі від 0 до 8 т. Для отримання достовірних результатів вимірювання бокового переміщення головки і подошви рельса проводилося для кожного типу скріплень не менше, ніж в 3 сеченнях. Вимірювання проводилися без створення вертикальної навантаження. **Результати.** З допомогою розробленої методики були знайдені величини поперечних переміщень розрахункових точок рельса при різних конструкціях рельсових скріплень. **Наукова новизна.** По експериментальним дослідженням вперше були знайдені значення горизонтальної поперечної жорсткості рельсових нитей по головці і подошві для різних сучасних конструкцій рельсових скріплень. **Практична значимість.** Знайдені автором значення характеристик горизонтальної поперечної жорсткості рельсових нитей по головці і подошві для різних сучасних конструкцій рельсових скріплень дають можливість виконувати розрахунки залізничного шляху на міцність з використанням правильних і виправлених значень цих характеристик.

Ключові слова: залізничний шлях; рельс; жорсткість рельсової нити; переміщення

V. P. VELINETS^{1*}

^{1*}Dep. «Railroad and Track Facilities», State Economic and Technological University of Transport, Lukashevich St., 19, Kyiv, Ukraine, 03049, tel. +38 (044) 591 51 47, e-mail velinets@hotmail.com, ORCID 0000-0002-5438-5378

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF HORIZONTAL LATERAL STIFFNESS OF RAILS UNDER DIFFERENT DESIGNS OF RAIL FASTENERS

Purpose. Calculation of a railway track on the strength is one of the sections of the overall complex research problems of interaction track and rolling stock. This paper describes the experimental study of horizontal transverse stiffness of railway rails with various strands of rail fasteners. Materials of this article should be relevant and will make it possible to calculate the strength of railway track using the correct and corrected performance of horizontal transverse stiffness of rail threads. **Methodology.** Determination of horizontal transverse rigidity of rail yarns with different designs of rail fasteners was conducted by measuring the quantities of transverse displacement of rails calculation points – namely the head and sole. For research the specialist equipment was created, made up of lineside jack DC-20, equipped with a hydraulic pressure gauge to measure pressure and rigid rod for horizontal rail stop in the thread, the opposite of the jack. Lateral movement of the head and sole of the track were recorded, and measured with indicators of clock type within a few hundredths of a millimeter. The horizontal lateral load on the rail jack was created by the injection pressure in the cylinder which was fixed with manometer into the jack. Load of rails was conducted over 2 tons of degrees ranging from 0 to 8 tons. To obtain reliable measurement results of lateral movement of the head and the base rails, its movement was conducted for each type fasteners not less than in 3 sections. Measurements were carried out without the creation of vertical load. **Findings.** With the developed method was found transverse displacement magnitude of rails calculation points at different designs of rail fasteners. **Originality.** The experimental studies were first found the mentioned horizontal transverse stiffness of rail threads in the head and sole of modern designs for different rail fasteners. **Practical value.** The values of horizontal transverse stiffness of rail threads in the head and sole of modern designs for different rail fasteners that were found by the author make it possible to calculate the strength of railway track using correct and corrected values of these characteristics.

Keywords: railway track; rail; rail stiffness thread; displacement

REFERENCES

1. Albrekht V.G., Bromberg Ye.M. *Besstykovoy put* [Continuous welded rail]. Moscow, Transport Publ., 1982. 204 p.
2. Bondarenko I.A. K voprosu ob opredelenii modulya uprugosti puti v vertikalnoy ploskosti [To the question of determining the elastic modulus of the track in the vertical plane]. *K voprosu ob opredelenii modulya uprugosti puti v vertikalnoy ploskosti* [Proc. of Kyiv University of Economy and Technologies of Transport. Series: Transport Systems and Technologies.]. Kyiv, 2004, vol. 5, pp. 14-25.
3. Verigo M.F., Kogan A.Ya. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava* [The interaction of track and rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1984. 559 p.
4. Yershkov O.P. Raschet relsa na deystviye bokovykh sil v krivyykh [Calculation of rail on the action of lateral forces in curves]. *Trudy Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of All-Russian Research Institute of Railway Transport]. Moscow, 1940, vol. 192, pp. 5-59.
5. Yershkov O.P. Kharakteristiki prostranstvennoy uprugosti relsovoy niti [The characteristics of the spatial elasticity of railway]. *Trudy Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of All-Russian Research Institute of Railway Transport]. Moscow, 1940, vol. 192, pp. 59-101.
6. Danilenko E.I. *Zaliznychna kolia. Ulashtuvannia, proektuvannia i rozrakhunky, vzaємodiia z rukhomym skladom* [Railway track. Device, design and analysis, interaction with rolling stock]. Kyiv, Inpres Publ., 2010. 2 vol.
7. Danilenko E.I. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist* [Rules of calculations of the railway track strength and stability]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2004. 148 p.
8. Timoshenko S.P. Metod issledovaniy statisticheskikh i dinamicheskikh napryazheniy v relse [Research method of statistical and dynamical stresses in rail]. *Statisticheskiye i dinamicheskiye problemy teorii uprugosti* [Statistical and dynamic problems of the elasticity theory]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1975, pp. 209-220.
9. Timoshenko S.P. Napryazheniya v zheleznodorozhnom relse [Stresses in a railway rail]. *Statisticheskiye i dinamicheskiye problemy teorii uprugosti* [Statistical and dynamic problems of the elasticity theory]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1975, pp. 318-355.
10. Umanov M.I., Kovalev V.V., Sova S.N. Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya puti so skrepleniyem KPP [The study of stress-strain state of the road with a bond of checkpoint]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 2, pp. 101-105.
11. Liu C., Zeng Zh., Wu B., Yuan J., He X. Experimental study on the transverse stiffness of WJ-8 rail fastening. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 596, pp. 3-6. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.596.3.
12. Holder D.E., Williams B.A., Dersch M.S., Edwards J.R., Barkan C.P.L. Quantification of Lateral Forces in Concrete Sleeper Fastening Systems Under Heavy Haul Freight Loads. 11th Intern. Heavy Haul Association Conf. (21.06.–24.06.2015). Perth, Australia, 2015. Available at: http://railtec.illinois.edu/articles/Files/Conference%20Proceedings/2015/IHHA%202015%20Paper%20219%20Holder_Final.pdf (Accessed: 4 November 2015).
13. Koc W., Wilk A., Chrostowski P., Grulkowski S. Tests on lateral resistance in railway tracks during the operation of a tamping machine. *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2011. vol. 225, issue 3, pp. 325-340. doi: 10.1243/09544097jrrt324.
14. Milković D., Simić G., Jakovljević Z., Tanasković J., Lučanin V. Wayside system for wheel–rail contact forces measurements. *Measurement*, 2013, vol. 46, pp. 3308-3318. doi: 10.1016/j.measurement.2013.06.017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна); науковим комітетом Міжнародної науково-практичної конференції імені д.т.н. Сокола Е. М. «Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд»

Надійшла до редколегії 25.09.2015

Прийнята до друку 19.11.2015

УДК 625.143-026.564.2

Е. І. ДАНИЛЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Залізнична колія та колійне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту,
вул. М. Лукашевича, 19, Київ, Україна, 03049, тел. +38 (044) 591 51 47, ел. пошта danilenko2010@mail.ru,
ORCID 0000-0002-8518-5272

НОВІТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БІЧНОЇ ПРУЖНОСТІ РЕЙКОВИХ НИТОК
ПРИ СПІЛЬНІЙ ДІЇ ВЕРТИКАЛЬНИХ І ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СИЛ

Мета. Вивчення характеристик просторової пружності рейкових ниток необхідне для розв'язання задач по розрахунку рейок на міцність у повній постановці, тобто при спільній дії на колію вертикальних і горизонтальних сил та крутного моменту. Характеристики горизонтальної бічної пружності та пружності рейкових ниток при крученні є найменш вивченими, особливо в умовах спільної дії на колію вертикальних і горизонтальних сил. У діючій методиці інженерних розрахунків колії на міцність вплив на роботу рейок горизонтальних сил враховується тільки опосередковано, через застосування так званих «коефіцієнтів впливу», які не пов'язані з конкретними розрахунками. Тобто, діюча методика не дозволяє отримувати точні деформації та напруження в рейках, в умовах спільної дії вертикальних і горизонтальних динамічних сил. Метою статті є рішення задачі з визначення реального бічного модуля пружності рейкової колії в умовах спільної дії на рейки вертикальних і горизонтальних сил. **Методика.** В роботі використано комплексний експериментально-теоретичний метод рішення задачі: за допомогою експериментальних методів були виміряні характеристики горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток при дії тільки горизонтальної сили; за допомогою теоретичних досліджень було вирішено задачу визначення фактичного поперечного модуля пружності рейкової колії $U_y^{(T)}$ (при спільній дії вертикальних і горизонтальних сил). **Результати.** У результаті виконаних досліджень отримані нові дані характеристик бічної пружності рейкових ниток для сучасних конструкцій колії на залізобетонних та дерев'яних шпалах із рейками Р65, UIC60, Р50 і Р43 зі скріпленнями КБ, КПП-5, КПП-1, Д0. **Наукова новизна.** Вперше у вітчизняних дослідженнях отримано експериментально-теоретичне рішення задачі з визначення характеристик бічної пружності рейкових ниток при спільній дії вертикальних і горизонтальних колісних навантажень та з встановлення функціональної залежності змінного поперечного модуля пружності $U_y^{(T)}$ від співвідношення сумісно діючих вертикальних і горизонтальних динамічних сил $P_{\text{дин}} / H_{\text{дин}}$. **Практична значимість.** Отримані результати дозволяють виконувати розрахунки на міцність рейок при сумісній дії на них вертикальних і горизонтальних сил для колії на залізобетонних та дерев'яних шпалах зі значно вищою точністю, ніж діюча зараз методика розрахунків колії.

Ключові слова: залізнична колія; рейка; жорсткість рейкової нитки; модуль пружності

Вступ

В довідковій технічній літературі наведений дуже різноманітний спектр результатів щодо характеристик жорсткості і пружності рейкових ниток при різних конструкціях колії. Крім того, наведені результати відносять до аналізу застарілих конструкцій колії і виконані 40–50 років тому. Але вивчення характеристик просторової пружності рейкових ниток (в тому числі горизонтальної бічної пружності) для сучасних конструкцій верхньої будови колії необхідне для розв'язання задач з розрахунків рейок на міцність в повній постановці, тобто

при спільній дії на колію вертикальних і горизонтальних сил і крутного моменту.

Мета

Метою статті є експериментально-теоретичне розв'язання задачі з визначення характеристик горизонтальної бічної пружності рейкових ниток і реального бічного модуля пружності рейкової колії на залізобетонних і дерев'яних шпалах з сучасними конструкціями рейкових скріплень в умовах спільної дії на рейки вертикальних і горизонтальних динамічних сил.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Постановка проблеми. При повній постановці аналітичного розв'язання задачі з розрахунку залізничної колії на міцність необхідно з достатньою точністю враховувати дію на рейкову нитку всіх зовнішніх сил і при цьому спільно розглядати виникаючі в рейковій нитці деформації: вертикальний і горизонтальний вигин рейкової нитки і її кручення. Деформації і напруження рейкових ниток при аналітичних розрахунках з достатньою точністю можна визначити тільки за умови знання характеристик просторової пружності рейкових ниток, визначених також з достатньою точністю.

Діюча методика інженерних розрахунків колії на міцність, як відомо, дозволяє отримувати тільки результати наближені до точних (як це зазначено в передумові до «Правил розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість» [4]) з точністю лише достатньою для практичних цілей. При тому, як відомо, в діючій методиці інженерних розрахунків колії на міцність вплив на роботу рейки горизонтальних динамічних сил не враховується безпосередньо, а тільки опосередковано через застосування так званих коефіцієнтів впливу, які в багатьох випадках не мають точного підтвердження для конкретних розрахунків.

Таким чином, вивчення характеристик просторової пружності рейкових ниток необхідне для розв'язання задач з розрахунку рейок на міцність в повній постановці, тобто при спільній дії на колію вертикальних і горизонтальних сил і крутного моменту.

До характеристик просторової пружності рейкової нитки відносять: жорсткості у вертикальній і горизонтальній площині і жорсткість рейкової нитки при крученні, а також функціонально пов'язані з ними модулі пружності у вертикальній і горизонтальній площині (бічний і поздовжній) і модуль пружності при крученні. Характеристики горизонтальної пружності рейкових ниток (бічної і поздовжньої), а також пружності при крученні – є найменш вивченими, особливо в умовах спільної дії на рейки вертикальних і горизонтальних сил і крутного моменту.

Особливо важливим для виконання точних аналітичних розрахунків є знаходження правильних функціональних залежностей між дію-

чими на рейкову нитку зовнішніми силами від коліс рухомого складу і виникаючими від них деформаціями і напруженнями в цій рейковій нитці, з урахуванням усіх характеристик просторової пружності рейкової нитки і особливостей конструктивного улаштування залізничної колії.

Огляд попередніх досліджень і публікацій. Основи теорії розрахунків рейкової нитки на спільну дію вертикальних і горизонтальних сил з урахуванням характеристик просторової пружності були розроблені ще на початку XX ст. проф. С. П. Тимошенком [11, 12], але в його рішеннях не враховувались сили тертя між рейкою і підрейковою основою, які суттєво впливають на результати рішення.

Виправлення цього недоліку було запропоноване проф. О. П. Єршковим в 1960-х рр. у ВНДІЗТ (Росія). Але результати теоретичних рішень О. П. Єршкова [6, 7] не були доведені до практичного впровадження і не були внесені в теорію розрахунків на міцність залізничної колії, яка корегувалась в 1972 р. колективом авторів ВНДІЗТ під керівництвом проф. М. Ф. Веріго [3].

Наші сьгоднішні дослідження 2012–2015 рр. [5] показали, що результати розрахунків проф. О. П. Єршкова потребують суттєвого корегування, в тому числі з урахуванням особливостей характеристик просторової пружності рейкових ниток з сучасними конструкціями рейкових скріплень.

Слід зазначити, що аналіз численних досліджень [1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 13] з визначення пружнодинамічних параметрів колії, що виконані за останні 50 років, дає дуже неоднозначний спектр результатів щодо різних конструкцій залізничної колії (табл. 1). По-перше, довідкова література з цих досліджень була розроблена 40–50 років тому на підставі аналізу старих конструкцій верхньої будови колії і конструкцій скріплень, що застосовувались на той час, тобто використання застарілих довідкових даних для сучасних конструкцій колії і рейкових скріплень не є правильним; по-друге, як з'ясувалось, натурна жорсткість рейкових ниток при сумісній дії вертикальних і горизонтальних сил суттєво відрізняється від розрахункових значень, які зазвичай приймаються для розрахунків колії на

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

міцність і стійкість. Таким чином, постає питання про некоректність використання існуючих застарілих розрахункових даних для

реального розрахунку колії на міцність і стійкість.

Таблиця 1

Довідкові дані жорсткості рейкової нитки по головці $\beta_{y(ср)}^{гол}$ та підшві $\beta_{y(ср)}^{під}$
і горизонтального поперечного модуля пружності підрейкової основи U_y
для різних конструкцій колії (за даними [1, 2, 6, 7, 9, 10, 13])

Table 1

Reference data on the stiffness of rail head $\beta_{y(ср)}^{гол}$ and rail bottom $\beta_{y(ср)}^{під}$
and horizontal lateral elasticity modulus of the railway base for various railway track
constructions (according to [1, 2, 6, 7, 9, 10, 13])

Характеристика конструкції колії	Тип рейки	Тип скріплення	Горизонтальна поперечна жорсткість рейкової нитки, кН/мм		Горизонтальний поперечний модуль пружності підрейкової основи U_y , МПа при дії тільки H ($P = 0$)	Кількість шпал на 1 км
			отримані значення		рекомендовані значення (джерело інформування)	
			$\beta_{y(ср)}^{гол}$	$\beta_{y(ср)}^{під}$		
Колія на залізобетон- них шпалах	Р65	КБ	17-23 [1]	37-58 [1]	10,9 [13] – КПП-1 (1840 шт/км)	
			18,7 [2]	45,4 [1]	19,7 [13] – КПП-1 (2000 шт/км)	
				64,9 [2]		
		ЖБ	8-12 [1]	25-40 [1]		
			12,0 [2]	31,6 [1]		
				19,5 [2]		
	Р65	Д0	16-22 [1]	32-48 [1]	22,0 [9, 10]	
			19,2 [2]	35,0 [1]	23,0 [9, 10]	
				43,5 [2]	24,0 [9, 10]	
	Р50	Д0	12,6 [6]	25,2 [6]	19,0 [9, 10], 19,4 [6]	
			13,5 [6]	27,0 [6]	22,0 [9, 10], 21,2 [6]	
			13,8 [6]	27,6 [6]	23,0 [9, 10], 23,2 [6]	
	Р43	Д0	-	-	24,0 [9, 10]	
			10,9 [6]	21,8 [6]	19,0 [9, 10], 18, [6]	
			11,8 [6]	23,6 [6]	22,0 [9, 10], 19,9 [6]	
12,1 [6]			24,2 [6]	23,0 [9, 10], 21,1 [6]		
-			-	24,0 [9, 10]		

Методика

В роботі використано комплексний метод розв'язання задачі, який включає експериментальну і теоретичну частину. За допомогою експериментальних методів були виміряні характеристики горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток по головці і по підшві при дії тільки горизонтальної сили для різних

конструкцій рейкових скріплень і для різних типів підрейкової основи (залізобетонні і дерев'яні шпали). За допомогою теоретичних досліджень було розв'язано задачу з встановлення функціональної залежності фактичного поперечного модуля пружності рейкової колії $U_y^{(T)}$ (при сумісній дії вертикальних і горизонтальних сил) від співвідношення сумісно

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

діючих на рейку вказаних динамічних сил $P_{\text{дин}}/H_{\text{дин}}$ і характеристик тертя по підшві рейки, які передбачають пружну хвилю тертя по підшві рейки при її горизонтальному згині.

Результати

Як відомо [6, 7], модуль пружності підрейкової основи в поперечній горизонтальній площині (при відсутності дії вертикальної сили P) визначається з виразу:

$$U_y = \frac{1}{\sqrt[3]{64EI_z}} \cdot (\beta_y^{\text{під}})^{4/3}, \quad (1)$$

де I_z – момент інерції рейки відносно вертикальної осі (при горизонтальному вигині); E – модуль пружності рейкової сталі; $\beta_y^{\text{під}}$ – бокова поперечна жорсткість рейкової нитки по підшві при дії тільки горизонтальної сили H .

Однак задача суттєво ускладнюється при визначенні поперечного модуля пружності підрейкової основи у випадку спільної дії сил горизонтальної H і вертикальної P . А саме такі випадки і мають місце в дійсності при експлуатації колії під дією рухомого складу [6, 4].

В цих випадках прийнято цей модуль позначати $U_y^{(T)}$, тобто як такий, що враховує сили тертя по підшві рейки при дії вертикальної сили P . При цьому значення фактичного поперечного модуля пружності при спільній дії вертикальної і горизонтальної сил $U_y^{(T)}$ суттєво відрізняється від поперечного модуля пружності U_y , який визначений без урахування вертикальної сили P .

Одним із перших, хто звернув увагу на вказану розбіжність між модулями поперечної пружності U_y і $U_y^{(T)}$, був проф. О. П. Єршков у ВНДІЗТ (Росія) ще в 1960-х роках минулого століття. Ним же були вперше виконані детальні дослідження з цього питання в роботах [6, 7], на прикладі вивчення поведінки верхньої будови колії на дерев'яних шпалах з рейками типів Р43 і Р50, що в той час були розповсюджені як типова конструкція ВБК на вітчизняних залізницях.

В дослідженнях проф. О. П. Єршкова була отримана формула, що встановлює зв'язок між

модулем поперечної пружності U_y (при дії тільки горизонтальної сили ($H \neq 0$) і відсутності вертикальної сили ($P=0$)) і модулем поперечної пружності $U_y^{(T)}$ при наявності спільної дії горизонтальної і вертикальної сил ($H \neq 0, P \neq 0$) в такому вигляді:

$$U_y^{(T)} = U_y \frac{\frac{H}{P}}{\frac{H}{P} - f_1 \cdot a}, \quad (2)$$

де f_1 – коефіцієнт тертя по підшві рейки при горизонтальному згині. Проф. О. П. Єршковим було прийнято $f_1=0,15$ для скріплень типу Д0 на дерев'яних шпалах. (В дійсності коефіцієнт f_1 слід приймати різним для різних скріплень); a – коефіцієнт, що враховує співвідношення горизонтальної і вертикальної жорсткості рейкової нитки (О. П. Єршковим для існуючих на той час натурних конструкцій колії значення цього коефіцієнта було *рекомендовано приймати постійним і рівним $a=0,9$*).

Ця формула була досить відомою і широко використовувалась, починаючи з 1960–1970 рр. у вітчизняній практиці при розрахунках верхньої будови колії на міцність, особливо у випадку відсутності експериментальних даних по жорсткості конкретних рейкових ниток.

Наприклад, у широковідомій довідковій технічній літературі «Справочнику инженера-путейца» [9], виданому у 1972 р., у випадку дії динамічних сил рекомендовано застосовувати формулу О. П. Єршкова (2) у такому вигляді:

$$U_y^{(T)} = U_y \frac{\frac{H_{\text{дин}}}{P_{\text{дин}}}}{\frac{H_{\text{дин}}}{P_{\text{дин}}} - 0,9 f_1}, \quad (3)$$

де $H_{\text{дин}}, P_{\text{дин}}$ – динамічні горизонтальна і вертикальна сили; коефіцієнт a прийнято рівним $a=\text{const}=0,9$; f_1 – рекомендовано для підрейкової основи на дерев'яних шпалах приймати $f_1=0,15$. Для залізобетонних шпал в цьому довіднику значень f_1 не вказано.

Однак, як показали наші сучасні дослідження, обидві формули (2) і (3) не є абсолютно коректними і потребують коригування в частині

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

коефіцієнтів a і f_1 , як для рейко-шпальної решітки на залізобетонних шпалах з сучасними скріпленнями, так і для дерев'яних шпал, з урахуванням співвідношень між силами P/H . Сучасні закордонні дослідження з цього приводу також не дають відповіді на поставлене питання [14, 15, 16].

В результаті виконаних нами досліджень [5] встановлено, що величина коефіцієнта суттєво змінюється залежно від: конструкції підрейкової основи, рейкових скріплень, співвідношення вертикальної і горизонтальної сил P/H і довжини ділянки x_T – пружної півхвилі тертя по підшві рейки при горизонтальному згині рейки в умовах спільної дії сил P і H , тобто $a = f(k_z, P/H, x_T)$.

Згідно з виконаними розрахунками аналітичний вираз залежності коефіцієнта a в функції від коефіцієнта відносної жорсткості рейкової нитки у вертикальній площині k_z , а також у функції від горизонтальної жорсткості, що виражено у відношенні P/H і довжині пружної півхвилі тертя x_T по підшві рейки при горизонтальному зміщенні має вигляд:

$$a = \frac{e^{-k_z \cdot x_T} \cdot \cos k_z \cdot x_T - 1}{e^{-\pi} \cdot \cos \pi - 1}. \quad (4)$$

Графік залежності a і x_T в функції від P/H має вигляд, що наведений на рис. 1.

На рис. 1 для прикладу наведено графік $a = f(P/H)$ $x_T = f(P/H)$ для конструкції ВБК із такими елементами: рейка – Р65, шпали – залізобетонні, еюра шпал 1 840 шт/км, тип скріплень – КБ.

Для сучасних конструкцій верхньої будови колії коефіцієнт a може змінюватись у межах від $a_{\min} = 0$ до $a_{\max} = 1,00$ і не може бути $a > 1,00$, так як еюра сил тертя може існувати тільки в межах довжини хвилі горизонтального поперечного згину рейки (рис. 2). Причому при $a_{\min} = 0$, що відповідає $P=0$ буде мати місце рівність: $U_y^{(T)} = U_y$. Це повністю відповідає математичній логіці прийнятих до розгляду фізичних характеристик. Навпаки в існуючому трактуванні рішення проф. О. П. Єршкова

[6, 7] при $P=0$ і $a \neq 0$ формули (2) і (3) не відповідають математичній логіці. Довжини півхвилі тертя по підшві рейки x_T можуть змінюватись від $x_T^{\min} = 0$ (при $P_{\min} = 0$) до $x_T^{\max} = 114,573...156,491$ см (при $P_{\max}/H_{\max} = 2,719...8,234$) для різних конструкцій верхньої будови колії при різних скріпленнях. (Нагадаємо, що в рішеннях проф. О. П. Єршкова [6, 7] рекомендовано для усіх випадків приймати $x_T^{\max} = 120$ см, яке було близьким до правильного рішення для конструкцій верхньої будови колії на дерев'яних шпалах з рейками Р50, що застосовувались на той час, але така величина не є правильною для сучасних конструкцій ВБК).

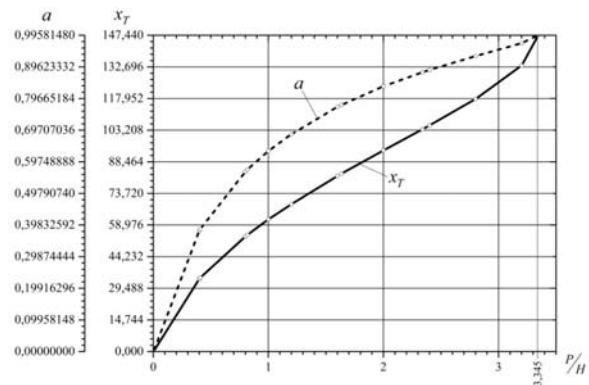


Рис. 1 Графік залежності a і x_T в функції від P/H

Fig. 1 Graph of a and x_T as a function of P/H

В кінцевому вигляді визначено, що формула, яка встановлює зв'язок між модулем поперечної пружності U_y для конструкції колії, що знаходиться під дією тільки горизонтальної бокової сили H (при $P=0$) і фактичним модулем поперечної пружності $U_y^{(T)}$ для конструкції колії, що знаходиться під спільною дією сил горизонтальної $H \neq 0$ і вертикальної $P \neq 0$, повинна мати такий вигляд:

$$U_y^{(T)} = U_y \frac{\frac{H_{\text{дин}}}{P_{\text{дин}}}}{\frac{H_{\text{дин}}}{P_{\text{дин}}} - a \cdot f_1}. \quad (5)$$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Формула (5) відрізняється від формул (2) і (3) тим, що коефіцієнт a не є величиною постійною і визначається за формулою (4).

Коефіцієнт a може приймати значення від найбільших $a_{\max}$ (при найбільш несприятливому співвідношенні сил $P_{\max}/H_{\max}$) до мінімальних $a_{\min}$ (при відсутності вертикальної сили $P=0$).

При значеннях вертикального і горизонтального навантаження на рейку, близьких до реальних сил взаємодії між колесом і рейкою $P_{\text{дин}}/H_{\text{дин}}$, коефіцієнт a слід рекомендувати приймати як найбільш ймовірне значення $a_{\text{ймов}}$ за табл. 2 при $x_T = x_T^{\text{ймов}}$.

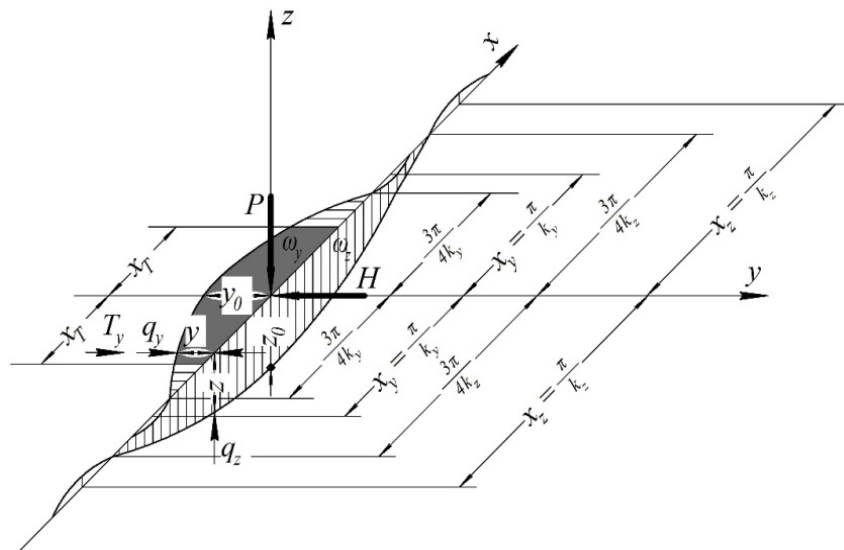


Рис. 2. Схема просторового вигину рейки при спільній дії вертикального і горизонтального (бокового) навантаження

Fig. 2. Figure of rail thread spatial bending under combined action of vertical and horizontal lateral forces

Коефіцієнт тертя по підшві рейки f_1 слід приймати залежно від типів рейкових скріплень і рейкових опор. Для скріплень, наведених в табл. 2, приймаються f_1 відповідно рівними: КБ – 0,3; КПП-5 – 0,32; КПП-1 – 0,28; Д0 – 0,15.

В табл. 2 приведені розрахункові значення коефіцієнта a для різних типів конструкції колії з рейками типів Р65, UIC60, Р50, Р43 для колії на дерев'яних шпалах зі скріпленнями Д0 і для колії на залізобетонних шпалах зі скріпленнями типу КБ, КПП-5, КПП-1 залежно від співвідношення діючих сил P/H від ймовірних до максимальних значень.

В табл. 3 наведено результати експериментальних досліджень горизонтальних жорсткостей рейкових ниток по головці і підшві $\beta_{y(\text{ср})}^{\text{гол}}$; $\beta_{y(\text{ср})}^{\text{під}}$, які отримані методом натурних вимірювань в коліях, що експлуатуються на Південно-

Західній залізниці у 2012–2015 рр. для найбільш поширених сучасних конструкцій залізничної колії при відсутності вертикальної сили $P=0$ і прикладеної горизонтальної сили $H \neq 0$.

Також в табл. 3 надані розрахункові значення модуля пружності підрейкової основи U_y , які визначені за формулою (1), і розрахункові значення фактичного модуля пружності підрейкової основи $U_y^{(T)}$, які визначені за формулою (5), при спільній дії горизонтальної і вертикальної сил $P \neq 0$, $H \neq 0$ (при чому значення вертикальної і горизонтальної сил прийнято рівним найбільш ймовірним значенням, що мають місце в динаміці при взаємодії вантажного чотиривісного вагона з рейковою колією в кривій $R \approx 800$ м при русі зі швидкістю $V = 90$ км/год).

Таблица 2

Значення a і x_T залежно від діючих сил P і H

Table 2

The values of a and x_T depending on the operating forces P and H

Тип скріплення	Тип рейки	Епюра	Значення a і x_T залежно від діючих сил P і H					
			$\frac{P_{\max}}{H_{\max}}$	$a_{\max}$	$x_T^{\max}$, см	Найбільш ймовірні значення		
						$\frac{P^*}{H^*}$	$a_{\text{ймов}}$	$x_T^{\text{ймов}}$, см
КБ	P65	1 680	3,345	0,9958	150,831	2,336	0,8791	105,870
		1 840	3,345	0,9958	147,440	2,336	0,8791	103,492
		2 000	3,345	0,9958	144,398	2,336	0,8792	101,360
КБ	UIC60	1 680	3,187	0,9986	147,245	2,336	0,8989	106,874
		1 840	3,187	0,9986	143,934	2,336	0,8989	104,474
		2 000	3,187	0,9986	140,965	2,336	0,8990	102,321
КБ	P50	1 680	2,807	1,0000	141,088	2,336	0,9539	112,028
		1 840	2,807	1,0000	137,916	2,336	0,9539	109,514
		2 000	2,807	1,0000	135,071	2,336	0,9540	107,259
КПП-5	P65	1 680	2,917	0,9387	122,619	2,336	0,8311	94,584
		1 840	2,917	0,9388	119,861	2,336	0,8313	92,478
		2 000	2,917	0,9389	117,389	2,336	0,8316	90,594
КПП-5	UIC60	1 680	2,719	0,9434	119,678	2,336	0,8618	97,450
		1 840	2,719	0,9436	116,987	2,336	0,8621	95,289
		2 000	2,719	0,9436	114,573	2,336	0,8623	93,348
КПП-1	P65	1 680	3,155	0,9586	125,066	2,336	0,8336	91,351
		1 840	3,155	0,9587	122,254	2,336	0,8339	89,321
		2 000	3,155	0,9588	119,732	2,336	0,8340	87,483
Д0	P65	1 840	8,234	0,9467	156,491	2,550	0,5576	66,787
Д0	P50	1 840	7,513	0,9671	145,046	2,550	0,6130	65,350
Д0	P43	1 840	7,103	0,9664	133,886	2,550	0,6281	62,414

(*) – найбільш ймовірні значення динамічних сил $P_{\text{дин}}$ прийняти за результатами розрахунків для чотиривісного вантажного вагона при русі в кривій $R \approx 800$ м зі швидкістю $V = 90$ км/год для колій: на залізобетонних шпалах $P_{\text{дин}} = 16\,350$ кг, $H_{\text{дин}} = 7\,000$ кг; на дерев'яних шпалах $P_{\text{дин}} = 17\,850$ кг, $H_{\text{дин}} = 7\,000$ кг.

Таблица 3

Значення модулів пружності підрейкової основи U_y , $U_y^{(T)}$ і жорсткостей рейкових ниток β_y
для різних конструкцій колії

Table 3

The values of the elastic modules of rail base U_y , $U_y^{(T)}$ and stiffness of rails β_y
for different designs of railway track

Тип скріплення	Тип рейки	Епюра	Горизонтальна поперечна жорсткість рейкової нитки, кН/мм (при $P = 0$, $H \neq 0$)		Горизонтальний поперечний модуль пружності підрейкової основи U_y , $U_y^{(T)*}$, кг/см ²	
			$\beta_{y(ср)}^{гол}$	$\beta_{y(ср)}^{під}$	U_y (при $P = 0$, $H \neq 0$)	$U_y^{(T)*}$ (при $P \neq 0$, $H \neq 0$)
КБ	P65	1 680	-	-	283,943	740,020
		1 840	17,71	38,92	310,985	810,551
		2 000	-	-	338,027	881,082
КБ	UIC60	1 680	-	-	282,488	763,830
		1 840	16,82	37,80	309,392	836,631
		2 000	-	-	336,296	909,432
КБ	P50	1 680	-	-	244,962	739,600
		1 840	12,68	31,41	268,292	810,096
		2 000	-	-	291,622	880,591
КПП-5	P65	1 680	-	-	650,087	1718,439
		1 840	18,80	72,44	712,000	1883,198
		2 000	-	-	773,913	2047,958
КПП-5	UIC60	1 680	-	-	647,304	1821,840
		1 840	17,86	70,40	708,952	1996,543
		2 000	-	-	770,600	2171,245
КПП-1	P65	1 680	-	-	600,677	1321,535
		1 840	17,87	68,27	657,884	1448,080
		2 000	-	-	715,091	1574,145
Д0	P65	1 840	15,87	32,55	245,044	311,476
Д0	P50	1 840	13,50	27,00	219,300	286,453
Д0	P43	1 840	11,80	23,60	207,662	273,368

(*) – значення вертикальної і горизонтальної сил прийнято рівним найбільш ймовірним значенням: на залізобетонних шпалах $P_{дин} = 16\,350$ кг, $H_{дин} = 7\,000$ кг; на дерев'яних шпалах $P_{дин} = 17\,850$ кг, $H_{дин} = 7\,000$ кг, що мають місце в динаміці при взаємодії вантажного чотиривісного вагона з рейковою колією в кривій $R \approx 800$ м при русі зі швидкістю $V = 90$ км/год.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

На рис. 3 наведено графік функціональної залежності горизонтального поперечного модуля пружності колії в функції від співвідношення діючих сил $U_y^{(T)} = f(P/H)$ для конструкцій колії з рейками Р65 при скріпленнях типів КБ і КПП-5 (на залізобетонних шпалах) і при скріпленнях типу ДО (на дерев'яних шпалах). Графіки дозволяють визначити величину горизонтального поперечного модуля пружності колії $U_y^{(T)}$ для будь-яких фактичних співвідношень діючих на рейку вертикальних і горизонтальних сил (P/H) .

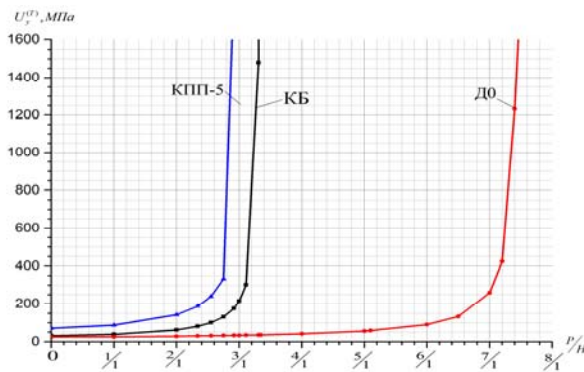


Рис. 3. Графік функціональної залежності

$$U_y^{(T)} = f(P/H)$$

Fig. 3. Graf of the functional dependence

$$U_y^{(T)} = f(P/H)$$

Варто зазначити, що результати новітніх досліджень характеристик горизонтальної поперечної пружності колії, які наведені на рис. 1, 3 і в табл. 3 цієї статті, подаються вперше в науково-технічній вітчизняній літературі.

Наукова новизна та практична значимість

Вперше у вітчизняних дослідженнях отримано експериментально-теоретичне рішення задачі з визначення характеристик горизонтальної бічної пружності рейкових ниток при сумісній дії вертикальних і горизонтальних колісних навантажень і з встановлення функціональної залежності змінного поперечного модуля пружності рейкової колії $U_y^{(T)}$ від співвідношення сумісно діючих на рейку вертикальних

і горизонтальних динамічних сил $P_{\text{дин}}/H_{\text{дин}}$. Отримані результати дозволяють виконувати розрахунки на міцність і стійкість рейкових ниток з урахуванням сумісної дії на колію вертикальних і горизонтальних сил для сучасних конструкцій скріплень на залізобетонних і дерев'яних шпалах зі значно вищою точністю, ніж це дозволяє діюча на сьогодні методика практичних інженерних розрахунків колії на міцність.

Висновки

Виконані експериментально-теоретичні дослідження з визначення характеристик бокової горизонтальної пружності рейкових ниток з рейками типів Р65, UIC60, Р50, Р43 із сучасними конструкціями скріплень типів КБ, КПП-5, КПП-1 і ДО. В результаті виконаних досліджень отримані нові дані характеристик просторової пружності рейкових ниток для сучасних конструкцій залізничної колії на залізобетонних і дерев'яних шпалах при сумісній дії вертикальних і горизонтальних сил.

Виявлено, що фактичний поперечний модуль пружності $U_y^{(T)}$ для конструкції колії, яка знаходиться під спільною дією вертикальних і горизонтальних сил P і H , по-перше, є змінною величиною і залежить від співвідношення сил P/H , по-друге, він суттєво відрізняється від початкового модуля пружності підрейкової основи рейкової колії U_y , отриманого під дією тільки горизонтальних поперечних сил H (за відсутності вертикальної сили $P = 0$).

Здійснено теоретичне розв'язання задачі з визначення модуля бічної поперечної пружності рейкової колії при спільній дії на рейку вертикального і горизонтального навантаження, з урахуванням сил тертя і довжини пружної хвилі тертя по підшві рейки. Отримана аналітична формула, що встановлює функціональну залежність між фактичним значенням модуля поперечної пружності $U_y^{(T)}$ для конструкції колії, що знаходиться від спільною дією вертикальної $P_{\text{дин}}$ і горизонтальної $H_{\text{дин}}$ динамічних сил і початковим модулем поперечної пружності підрейкової основи U_y для конструкції колії, що знаходиться

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

під дією тільки горизонтальної поперечної сили H (при $P = 0$).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бесстыковой путь / В. Г. Альбрехт, Е. М. Бромберг, Н. Б. Зверев [и др.]. – Москва : Транспорт, 1982. – 206 с.
- Вериги, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериги, А. Я. Коган. – Москва : Транспорт, 1986. – 559 с.
- Вериги, М. Ф. Общие положения для корректировки Правил расчетов железнодорожного пути на прочность и предложения по изменению этих правил / М. Ф. Вериги, С. С. Крепкогорский // Тр. ЦНИИ МПС. – Москва, 1972. – Вып. 466. – С. 6–42.
- Даниленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП-0117 / Е. І. Даниленко, В. В. Рибкін. – Київ : Транспорт України, 2006. – 168 с.
- Даниленко, Э. И. Теоретическое решение задачи по определению реального бокового модуля упругости пути, при совместном действии на рельсовую нить горизонтальных и вертикальных сил / Э. И. Даниленко, В. П. Велинец // Зб. наук. пр. Держ. економ.-техн. ун-ту трансп. – Київ, 2014. – Вып. 24. – С. 106–122.
- Ершков, О. П. Расчет рельса на действие боковых сил в кривых / О. П. Ершков // Тр. ВНИИЖТа. – Москва, 1960. – Вып. 192. – С. 5–59.
- Ершков, О. П. Характеристики пространственной упругости рельсовой нити / О. П. Ершков // Тр. ВНИИЖТа. – Москва, 1960. – Вып. 192. – С. 59–101.
- Настечик, М. П. Вплив пружних деформацій в елементах скріплення типу КПП-5 на величину сили притискання рейки до підрейкової основи / М. П. Настечик, Р. В. Маркуль, В. В. Савицький // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 4 (58). – С. 110–120. doi: 10.15802/stp-2015/49217.
- Справочник инженера-путейца / под ред. В. В. Баилова, М. А. Чернышева. – Москва : Транспорт, 1972. – Т. 1. – 768 с.
- Татуревич, А. П. Результаты определения фактических значений жесткости пути для исследований взаимодействия пути и подвижного состава / А. П. Татуревич // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. ак. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вып. 2. – С. 95–100.
- Тимошенко, С. П. Метод исследований статических и динамических напряжений в рельсе / С. П. Тимошенко // Статист. и динам. проблемы теории упругости. – Київ : Наукова думка, 1975. – С. 209–220.
- Тимошенко, С. П. Напряжения в железнодорожном рельсе / С. П. Тимошенко // Статист. и динам. проблемы теории упругости. – Київ : Наукова думка, 1975. – С. 318–355.
- Уманов, М. И. Исследования напряженно-деформированного состояния пути со скреплением КПП / М. И. Уманов, В. В. Ковалев, С. Н. Сова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. ак. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вып. 2. – С. 101–105.
- Experimental study on the transverse stiffness of WJ-8 rail fastening / C. Liu, Zh. Zeng, B. Wu [et al.] // Trans Tech Publications, Switzerland Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol 596. – P. 3–6. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.596.3.
- Quantification of Lateral Forces in Concrete Sleeper Fastening Systems Under Heavy Haul Freight Loads [Електронний ресурс] / D. E. Holder, B. A. Williams, M. S. Dersch [et al.] // INHA 2015 Conference (21.06.–24.06.2015). – Perth, Australia, 2015. – Режим доступу : http://railtec.illinois.edu/articles/Files/Conference%20Proceedings/2015/INHA%202015%20Paper%20219%20Holder_Final.pdf. – Назва з екрана. – Перевірено : 12.11.2015.
- Tests on lateral resistance in railway tracks during the operation of a tamping machine / W. Koc, A. Wilk, P. Chrostowski, S. Grulkowski // Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part F : J. of Rail and Rapid Transit. – 2011. – Vol. 225. – P. 325–334. doi: 10.1243/09544097jrrt324.

Э. И. ДАНИЛЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Железнодорожный путь и путевое хозяйство», Государственный экономико-технологический университет транспорта, ул. Н. Лукашевича, 19, Киев, Украина, 03049, тел. +38 (044) 591 51 47, эл. почта danilenko2010@mail.ru, ORCID 0000-0002-8518-5272

НОВЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БОКОВОЙ УПРУГОСТИ РЕЛЬСОВЫХ НИТЕЙ ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ

Цель. Изучение характеристик пространственной упругости рельсовых нитей необходимо для решения задач по расчету рельсов на прочность в полной постановке, то есть при совместном действии на путь вертикальных и горизонтальных сил и крутящего момента. Характеристики горизонтальной боковой упругости и упругости рельсовых нитей при кручении являются наименее изученными в условиях совместного действия на путь вертикальных и горизонтальных сил. В действующей методике инженерных расчетов пути на прочность влияние на работу рельсов горизонтальных сил учитывается только опосредованно, через применение так называемых «коэффициентов влияния», которые не привязаны к конкретным расчетам. То есть, действующая методика не позволяет получать точные деформации и напряжения в рельсах при совместном действии вертикальных и горизонтальных динамических сил. Целью статьи является решение задачи определения реального бокового модуля упругости пути при совместном действии на рельсы вертикальных и горизонтальных сил. **Методика.** В работе использован комплексный метод решения задачи: с помощью экспериментальных методов были измерены характеристики горизонтальной поперечной жесткости рельсовых нитей при действии только горизонтальной силы; с помощью теоретических исследований была решена задача определения фактического поперечного модуля упругости рельсового пути $U_y^{(T)}$ (при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил). **Результаты.** В результате выполненных исследований получены новые данные характеристик боковой упругости рельсовых нитей для современных конструкций железнодорожного пути на железобетонных и деревянных шпалах с рельсами Р65, UIC60, Р50 и Р43 со скреплениями КБ, КПП-5, КПП-1, Д0. **Научная новизна.** Впервые в отечественных исследованиях получено экспериментально-теоретическое решение задачи по определению характеристик боковой упругости рельсовых нитей при совместном действии вертикальных и горизонтальных колесных нагрузок с установлением функциональной зависимости переменного поперечного модуля упругости пути $U_y^{(T)}$ от соотношения совместно действующих вертикальных и горизонтальных динамических сил $P_{дин} / H_{дин}$. **Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют выполнять расчеты на прочность рельсов при совместном действии на них вертикальных и горизонтальных сил для пути на железобетонных и деревянных шпалах со значительно более высокой точностью, чем при действующей сейчас методике расчетов пути на прочность.

Ключевые слова: железнодорожный путь; рельс; жесткость рельсовой нити; модуль упругости

E. I. DANILENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Railway Track and Track Facilities», State Economic and Technological University of Transport, Lukashevich St., 19, Kyiv, Ukraine, 03049, tel. +38 (044) 591 51 47, e-mail danilenko2010@mail.ru, ORCID 0000-0002-8518-5272

RECENT RESEARCHES OF THE LATERAL FLEXIBILITY OF RAIL THREAD UNDER COMBINED ACTION OF VERTICAL AND HORIZONTAL FORCES

Purpose. Studying the characteristics of spatial flexibility of rail thread is necessary for solving problems in calculation rails durability in full formulation, namely under combined action of vertical and horizontal forces and torque moment on the track. Characteristics of torsional lateral horizontal elasticity and rail thread are the least researched under combined action of vertical and horizontal forces on the track. In the current method of engineering calculation the track durability the impact on track horizontal forces are counted only indirectly through the use of so-called «factors of influence», which are not connected with calculations. That is, the current method cannot let obtain the exact strains and stresses of rails under combined action on the track vertical and horizontal forces. The article purpose is solving the problem of calculation the real lateral modulus of railway track under combined action of vertical and horizontal forces. **Methodology.** In this paper the complex method of solving the problem was used: with the help of experimental method characteristics of rail horizontal transverse stiffness when exposed only hori-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

zontal force were measured; theoretical researches were used for calculation the actual lateral elastic modulus of track $U_y^{(T)}$ (when combined action of vertical and horizontal forces on track takes place). **Findings.** New data characteristics of lateral flexibility of rail thread were obtained for modern designs of the railway track on concrete and wooden sleepers with rails R65, UIC60, R50, R43 and with fastenings КБ, КПП-5, КПП-1, Д0. **Originality.** For the first time in domestic researches, experimental and theoretical solution of characteristics of lateral flexibility of rail threads under combined action of vertical and horizontal wheel loads with positioning the functional dependence of variable transverse modulus of the rail elasticity $U_y^{(T)}$ from the ratio of co-operating vertical and horizontal dynamic forces P_{dyn} / H_{dyn} . **Practical value.** The results allow calculating the strength of rail threads considering combined action of vertical and horizontal forces on the track for concrete and wooden sleepers with significantly higher accuracy than with the current method of calculation the track for strength.

Keywords: railway track; rail; rail thread stiffness; elastic modulus

REFERENCES

1. Albrekht V.G., Bromberg Ye.M., Zverev N.B. *Besstykovoy put* [Welded railroad]. Moscow, Transport Publ., 1982. 206 p.
2. Verigo M. F., Kogan A. Ya. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava* [Track and rolling stock interaction]. Moscow, Transport Publ., 1986. 559 p.
3. Verigo M.F., Krepkogorskiy S.S. Obshchiye polozheniya dlya korrektyrovki Pravil raschetov zheleznodorozhnogo puti na prochnost i predlozheniya po izmeneniyu etikh pravil [General provisions for updating calculation rules of the railway track on strength and proposals to change these rules]. *Trudy Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of All-Russian Scientific Research Institute of Railway Transport], 1972, issue 466, pp. 4-50.
4. Danilenko E.I., Rybkin V.V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist: TsP-0117* [Calculation rules of a railway track for strength and stability: TsP-0117]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2006. 168 p.
5. Danilenko E.I., Velinets V.P. Teoreticheskoye resheniye zadachi po opredeleniyu realnogo bokovogo modulya uprugosti puti, pri sovmestnom deystvii na relsovyu nit gorizontalnykh i vertikalnykh sil [The theoretical solution to the problem of determining the real side of the elastic modulus track under the joint action on rail thread of horizontal and vertical forces]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tekhnologichnoho universytetu transportu* [Proc. of State Economy and Technology University of Transport], 2014, issue 24, pp.106-122.
6. Yershkov, O. P. Raschet relsa na deystviye bokovykh sil v krivyykh [Calculation of the rail to the effect of lateral forces in curves]. *Trudy Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of All-Russian Scientific Research Institute of Railway Transport], 1960, issue 192, pp. 5-59.
7. Yershkov O.P. Kharakteristiki prostranstvennoy uprugosti relsovoy niti [Characteristics of spatial elastic rail thread]. *Trudy Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of All-Russian Scientific Research Institute of Railway Transport], 1960, issue 192, pp. 59-101.
8. Nastechyk M.P., Markul R.V., Savytskyi V.V. Vplyv pruzhnykh deformatsii v elementakh skriplennia typu KPP-5 na velychynu syly prytyskannia reiky do pidreikovoї osnovy [Elastic deformations impact in elements of the rail fastening, type КПП-5 on a size of pressing force of the rail to the subrail basis]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no 4 (58), pp. 110-120.
9. Basilov V.V., Chernyshev M.A. *Spravochnik inzhenera-puteytsa* [Directory of a railway engineer]. Moscow, Transport Publ., 1972, vol. 1. 768 p.
10. Taturevich A.P. Rezultaty opredeleniya fakticheskikh znacheniy zhestkosti puti dlya issledovaniy vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava [The results of determining the actual values of stiffness ways to study the interaction of a track and rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 2, pp. 95-100.
11. Timoshenko S.P. Metod issledovaniy statisticheskikh i dinamicheskikh napryazheniy v relse [Research method of statical and dynamical stresses in a rail]. *Statisticheskiye i dinamicheskiye problemy teorii uprugosti* [Statistical and dynamic problems of the elasticity theory]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1975, pp. 209-220.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

12. Timoshenko S.P. *Napryazheniya v zheleznodorozhnom relse* [Stresses in a railway rail]. *Statisticheskiye i dinamicheskiye problemy teorii uprugosti* [Statistical and dynamic problems of the elasticity theory]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1975, pp. 318-355.
13. Umanov M.I., Kovalev V.V., Sova S.N. Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya puti so skrepleniyem KPP [Research of stress-strain state of the track of the KППI staple]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 2, pp. 101-105.
14. Liu C., Zeng Zh. P., Wu B., Yuan J.U., He X. F. Experimental study on the transverse stiffness of WJ-8 rail fastening. *Trans Tech Publications, Switzerland Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 596, pp. 3-6. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.596.3.
15. Holder D.E., Williams B.A., Dersch M.S., Edwards J. R., Barkan C.P.L. Quantification of Lateral Forces in Concrete Sleeper Fastening Systems Under Heavy Haul Freight Loads. (21.06.–24.06.2015). Perth, Australia, 2015. – Available at: http://railtec.illinois.edu/articles/Files/Conference%20Proceedings/2015/IHHA%20-2015%20Paper%20219%20Holder_Final.pdf (12 November 2015).
16. Koc W., Wilk A., Chrostowski P., Grulkowski S. Tests on lateral resistance in railway tracks during the operation of a tamping machine. *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers*, 2011, vol. 225, pp. 325-34. doi: 10.1243/09544097jrrt324.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна); науковим комітетом Міжнародної науково-практичної конференції імені д.т.н. Сокола Е. М. «Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд»

Надійшла до редколегії 25.09.2015

Прийнята до друку 19.11.2015

УДК 625.143.3

Р. М. ЙОСИФОВИЧ^{1*}

^{1*}Каф. «Залізнична колія та колійне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, вул. М. Лукашевича, 19, Київ, Україна, 03049, тел. +38 (044) 591 51 47, ел. пошта yosyfovych@gmail.com, ORCID 0000-0003-3892-3727

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ДЕФЕКТНИХ РЕЙОК
ТИПУ Р50 ІЗ ВИПРОБУВАННЯМИ НА ЦИКЛІЧНУ ВИТРИВАЛІСТЬ**

Мета. Стаття присвячена вивченню та оцінці залишкового ресурсу для дефектних нетермозміцнених рейок типу Р50, що експлуатуються на коліях Київського метрополітену і вилучаються з експлуатації через наявність дефектів типу 11.1-2 на боковій викружці поверхні кочення голівки рейки. **Методика.** Дослідження виконані з застосуванням експериментальних методів: випробування зразків дефектних рейок на циклічну витривалість на пульсаційній машині та випробування зразків дефектних рейок на статичне граничне навантаження на гідравлічному вертикальному пресі. **Результати.** Проведені експерименти свідчать про те, що на базі випробувань у 2 млн. циклів відбувається лише незначний розвиток (збільшення розмірів) на 0,5–0,7 мм наявних дефектів коду 11.2 у результаті осипання часток викришеного металу на боковій робочій викружці головки дослідних зразків рейок. Інтенсивного, тим більше катастрофічного, розвитку дефектів типу 11.2, або перетворення цих дефектів у дефекти типу 21.2 або 30Г.2 не відбулося в жодному випадку. **Наукова новизна.** Вперше в Україні теоретичними розрахунками обґрунтовано велику вірогідність утворення дефектів контактно-втомного походження у вигляді викришування та вищерблювання металу на поверхні кочення рейки, біля краю головки. Це відбувається у результаті створення високого ступеню напруженого нерівноважного стиску в цій зоні, за рахунок високих значень головних нормальних напружень – появи великих дотичних напружень у тілі головки на глибині 2,5–3,5 мм, які перевищують межу текучості й витривалості металу. Проведені стендові експериментальні випробування дослідних зразків дефектних рейок на багатоциклову витривалість (на базі №=2,1х10 циклів) із періодичним дефектоскопним контролем. **Практична значимість.** У результаті експериментів отримані нові дані про спроможність опору рейок із дефектами викришування на поверхні кочення голівки за кодом 11.1-2 довготривалим циклічним навантаженням величиною рівною експлуатаційному колісному навантаженню на базі випробувань у 2 млн циклів. Тобто, дефектні рейки можуть мати залишковий ресурс не менше 30 млн. т. бруто.

Ключові слова: залізнична колія; рейка; дефекти; циклічні навантаження

Вступ

Діючими технічними умовами на експлуатацію рейок метрополітенів регламентовано нормативний строк експлуатації рейок типу Р50 (нетермозміцнених) по дефектності в межах $T_{\text{норм}} = 450$ млн т бруто пропущеного тоннажу. Однак, як показує досвід, дефектні рейки після виявлення можуть деякий час експлуатуватися в колії до їх вилучення і заміни. Тобто, такі рейки мають певний залишковий ресурс роботи без загрози безпеці руху поїздів. Вивчення дійсного практичного залишкового ресурсу експлуатаційної роботи дефектних рейок становить значний практичний інтерес і зможе дати можливість запропонувати підвищення фактичного ресурсу роботи рейок в колії.

Мета

Метою статті є виклад результатів досліджень експериментальними методами залишкового ресурсу дефектних рейок типу Р50 (нетермозміцнених), що експлуатуються на коліях Київського метрополітену і вилучаються із експлуатації через наявність дефектів типу 11.1-2 на боковій викружці поверхні кочення голівки рейки.

Методика

Для вирішення завдання з підвищення експлуатаційного ресурсу рейок необхідно виконувати їх дослідження під час роботи в колії під поїздами, а також дослідження їх роботи під навантаженням після накопичення дефектності за кодом 11.1-2, що вивчається. Вивчення

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

поведінки дефектних рейок під навантаженням прийнято виконувати методом випробувань на витривалість на пульсаційних машинах в умовах навантаження, близьких до експлуатаційних в колії. Якщо дослідні зразки дефектних рейок добре витримують випробування на витривалість – є підстава робити висновок про можливість підвищення ресурсу їх роботи. Крім того, для вивчення граничних умов застосовують метод випробувань дослідних зразків на граничне навантаження. Саме такі методи експериментальних досліджень застосовані в цій роботі для вивчення залишкового ресурсу дефектних рейок типу Р50, що експлуатуються на коліях Київського метрополітену.

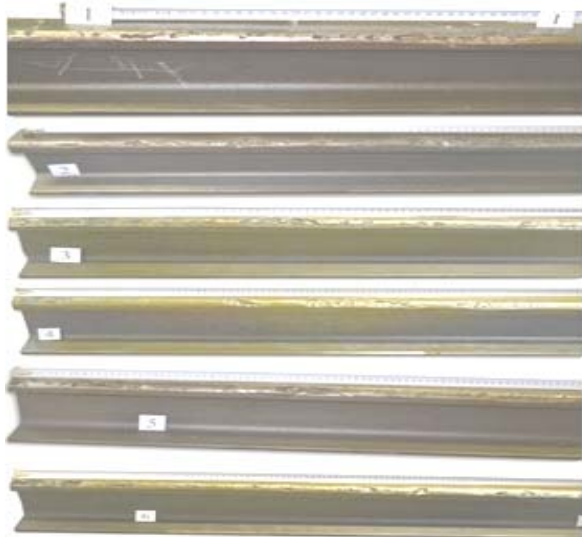


Рис. 1. Експериментальні зразки рейок, що були прийняті для випробувань: № 1–6

Fig. 1. Experimental sample rails that were taken for testing: No. 1–6

Загальновідомо, що дефектні рейки після виявлення можуть деякий час, до планової заміни, експлуатуватися в колії. Залежно від виду дефекту та умов експлуатації такі рейки мають певний, часто доволі значний, залишковий ресурс роботи без загрози безпеці руху поїздів. В умовах нестачі коштів на нові матеріали верхньої будови колії залишковий ресурс роботи дефектних рейок становить значний практичний інтерес, тому його вивченню й присвячене це дослідження.

Згідно з метою цієї роботи як основну задачу було визначено завдання зробити оцінку залишкового ресурсу для дефектних рейок типу Р50 (нетермозміцнених), що експлуатуються на коліях Київського метрополітену і вилучені з експлуатації через наявність дефектів типу 11.1-2 на боковій викружці поверхні кочення головки рейки.

Дефекти саме такого типу, як свідчать результати статистичного аналізу, є найбільш поширеними для рейок, що експлуатуються в коліях Київського метрополітену. Звісно, методика оцінки залишкового ресурсу пошкоджених рейок має враховувати як умови роботи рейки у колії метрополітену, так і характер наявних дефектів та їх можливий розвиток при подальшій експлуатації рейки.

Для експериментальних досліджень довговічності рейок, в тому числі і залишкової довговічності дефектних рейок, у вітчизняній практиці прийнято використовувати випробування рейок на витривалість на пульсаційних машинах, створюючи потрібні умови взаємодії колеса і рейки, по можливості найбільш близькі до експлуатаційних. Дослідження витривалості рейок з дефектами в процесі випробувань на пульсаційних машинах дозволяють виконувати детальне вивчення механізмів утворення і розвитку вказаних дефектів, і на основі цього, за рахунок конкретних пропозицій, досягти реального прогресу у підвищенні довговічності залізничних рейок.

Для виконання досліджень залишкового ресурсу дефектних рейок на витривалість на гідравлічному пульсаторі були використані зразки рейок типу Р50 (довжиною 1 200 мм), які були надані службою колії, тунельних споруд і будівель метрополітену. Всі дослідні зразки були вирізані з дефектних рейок, які в плановому порядку були вилучені з головних колій метрополітену при досягненні розмірів дефекту за кодом 11.2, що вимагали обмеження швидкості до 70 км/год – довжина нерівності понад 25 мм, глибина – до 4 мм включно (рис. 1).

Експериментальні випробування на циклічну витривалість дослідних зразків рейок виконувались для умов триточкового згину (рис. 2). При цьому експеримент виконували за двома різними схемами навантаження:

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

1 схема – рейка випробовувалась у звичайному положенні «головкою вверх», при якій в головці рейки під навантаженням з'являлись стискаючі напруження, а у підшві рейки – розтягуючі напруження (рис. 2, а);

2 схема – рейка випробовувалась у перевернутому положенні «головкою вниз», при якій в головці рейки створювалась зона розтягуючих напружень, а у підшві рейки – зона стискаючих напружень (рис. 2, б). Така схема більш прийнятна для перевірки впливу розтягуючих напружень у верхніх шарах головки на процес накопичення втомних пошкоджень.

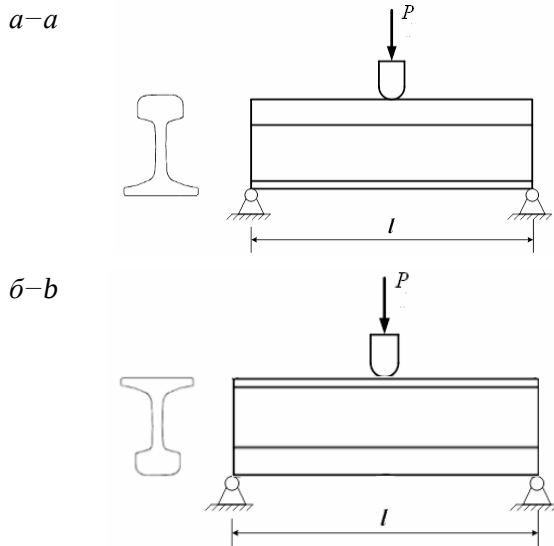


Рис. 2. Схема триточкового згину зразка рейки при випробуванні на циклічну витривалість:
а – за схемою №1 (головкою вверх);
б – за схемою №2 (головкою вниз)

Fig. 2. Scheme of three-point bending sample rails when tested on fatigue hardness:
a – the scheme No. 1 (head up);
b – the scheme No. 2 (head down)

Для наведених схем теоретичним шляхом було встановлено такі параметри, необхідні для постановки експерименту. Для схеми № 1 (при навантаженні в звичайному положенні рейки головкою вверх) прийнята відстань між опорами – $l = 1\,000$ мм, при цьому величина вертикальної сили може змінюватись у межах від середньої динамічної до максимальної динамічної сили, тобто $P_{\text{розр}} = P_{\text{дин}}^{\text{сер}} / P_{\text{дин}}^{\text{max}}$ ($P_{\text{дин}}^{\text{сер}} = 82,31$ кН; $P_{\text{дин}}^{\text{max}} = 90,0$ кН).

Для схеми навантаження №2 (головкою вниз) прийнята відстань між опорами $l = 800$ мм, величина вертикальної сили $P = 3\,000$ кг.

Циклічне навантаження рейки реалізується на спеціальних дослідницьких установках – пульсаційних машинах (пульсаторах). Експерименти виконувались за типовою методикою ВНДІЗТ по визначенню втомної циклічної довговічності нових рейок на базі випробувань $2 \cdot 10^6$ циклів навантаження з коефіцієнтом асиметрії циклу $r = 0,1$ і частотою 5 Гц. За цією методикою визначають максимальне навантаження, за яким рейка у кожній із серій дослідних зразків витримує базову кількість циклів навантаження без руйнування.

Установка для випробувань складалась з саме пульсатора ZDM-10Pu і опорної плити, на якій розміщувався дослідний зразок рейки зі спеціальними кріпленнями. Для виконання випробувань на пульсаційне навантаження, відповідно до розробленої методики, установка була доукомплектована спеціальними шарнірними опорами і роликом для передачі навантаження від пульсатора на рейку. Загальний вигляд випробувальної установки із встановленим дослідним зразком рейки наведено на рис. 3 а, б.

З 4-ох дослідних зразків рейок два зразки (№ 1 та 4) навантажувались за схемою № 1 (див. рис. 2, а) в діапазоні зміни сили P від $P_{\text{max}} = 91$ кН до $P_{\text{min}} = 20$ кН з частотою 5 Гц, форма циклу – синусоїдальна. Амплітудна величина сили відповідала розрахованій вище максимальній динамічній силі. Зусилля прикладали за допомогою ролика діаметром 90 мм. Контроль напружень здійснювали за допомогою фольгових тензорезисторів, що наклеювались на головку рейки симетрично відносно осі ролика на відстані 50 мм.

Для реалізації запланованих випробувань кожного зразка рейок базою випробувань у 2 млн циклів і з частотою 5 Гц потрібно було витратити 111 годин безперервної роботи пульсатора. Для контролю можливого розвитку дефектів у процесі циклічного навантаження були передбачені планові зупинки пульсатора. Для цього використовували засоби ультразвукової діагностики. Такий контроль здійснювався пе-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ріодично після реалізації $4 \cdot 10^5$, $8 \cdot 10^5$, $1,2 \cdot 10^6$, $1,6 \cdot 10^6$ і $2 \cdot 10^6$ циклів навантаження. Таким чином мінімальний термін випробувань лише для одного дослідного зразка складав майже 1 місяць.

а–а



б–б



Рис. 3. Загальний вигляд випробувальної установки із встановленим зразком рейки: а – за схемою №1; б – за схемою №2

Fig. 3. General view of the test setup with established rails model: а – the scheme No. 1; б – the scheme No. 2

Після проведення випробувань за схемою № 1 (рис. 2, а) для більш точної оцінки залишкового ресурсу рейок були виконані експериментальні дослідження циклічного згину рейок з реалізацією розтягуючих напружень у головці рейки за схемою № 2 (див. рис. 2, б). З цієї метою на згаданій випробувальній установці була досліджена поведінка двох зразків рейки (№ 3 і 4) з дефектами типу 11.1-2 в умовах циклічного навантаження. Аналогічно до попередньої схеми виконувався дефектоскопічний контроль зразків рейки.

Відстань між шарнірними опорами зразка рейки $l = 800$ мм і максимальна величина сили $F = 31$ кН вибирались таким чином, щоб на поверхні головки рейки діяли напруження, що відповідають експлуатаційним (тобто у нашому випадку $\sigma_{\max}^+ = \sigma_{\max}^- \cdot 20\% = 102 \cdot 0,2 = 20,4$ МПа) або трохи перевищують їх. Величина прольоту балки l вибрана трохи більшою, ніж міжшпальна відстань із умов забезпечення розрахункових розтягуючих напружень.

Експерименти були завершені після виконання повного циклу випробувань для усіх 4-ох дослідних зразків рейок.

Результати експериментів показали, що на базі випробувань у 2 млн циклів розвиток дефектів типу 11.2 не відбувались, також не зафіксовано і появу поперечних тріщин (дефект типу 21). За результатами дефектоскопічного ультразвукового контролю не виявлено появи поперечних тріщин (тобто дефектів типу 21) у досліджених зразках. При цьому не виявлено також суттєвого збільшення розмірів наявних дефектів типу 11.2. При середньому навантаженні на одну вісь візка вагона метро у 150 кН та середній пропускній спроможності 311 потягів у день $2 \cdot 10^6$ циклів навантаження відповідають пропущеному тоннажу у майже 30 млн т бруто (320 днів експлуатації).

Таким чином, можна вважати, що напруження від циклічного згину, рівень яких відповідає експлуатаційним, несуттєво впливають на розвиток дефектів в рейках. Вказані висновки стосуються лише заданих умов циклічного навантаження.

Випробування на дію граничного вертикального навантаження. Оскільки під час експериментальних досліджень рейок типу Р50 на гідрравлічному пульсаторі типу ZDM-10Pu за 2 млн циклів пульсаційних навантажень не зафіксовано появи поперечних тріщин за дефектами кодів 21.2 і 30Г.2, тому було вирішено продовжити випробування зразків рейок методом руйнівного контролю із використанням вертикальних статичних навантажень до моменту зламу або граничної деформації (стріла вигину більше ніж 35 мм для рейок типу Р50) зразка з одночасним дефектоскопічним контролем за розвитком дефектів.

Випробування зразків рейок при статичному поперечному триточковому вигині виконувалися на Київському рейкозварювальному підприємстві галузевої служби колії ДТГО «Південно-Західна залізниця», що оснащено гідрравлічним пресом типу П-500 (рис. 4) для випробувань зварних стиків рейок. Цей гідрравлічний прес обрано з урахуванням ідентичності випробувань зварних стиків рейок і суцільного відрізка рейки.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ



Рис. 4. Гідравлічний прес типу П-500

Fig. 4. The hydraulic press-type P-500

Випробування дослідних зразків рейок при статичному навантаженні на гідравлічному пресі типу П-500 виконувалися за кілька ідентичних циклів.

У першому циклі (кількість циклів визначалося за характером поведінки зразка рейки під час експерименту) випробувань виконувалися процедури в такій послідовності:

1 – поступове завантаження зразка рейки за відповідною схемою (прикладення вертикальної статичної сили до головки або підшви рейки) статичною вертикальною силою з візуальним контролем по манометру величини наростання прикладеного навантаження;

2 – при досягненні встановленої умовами експерименту величини статичного навантаження фіксується величина стріли вигину зразка рейки, прикладене навантаження знімається, зразок рейки виводиться за межі гідравлічного преса і проводиться дефектоскопний контроль дослідного зразка рейки;

3 – встановлення зразка рейки у прес і повторення процедур 1 і 2.

У другому та інших циклах випробувань вказана послідовність процедур повторювалася до досягнення зламу або критичної деформації дослідного зразка рейки.

Дослідний зразок № 1. Глибина викришування металу на боковій робочій викружці головки рейки в середині дослідного зразка рейки № 1 складала $H = 1,4$ мм. Завантаження вертикальним статичним навантаженням виконувалося на підшви рейки. Перший цикл статичного завантаження виконувався до 40 тс, другий – до 80 тс. У третьому циклі при стрілі вигину 7 мм і досягненні статичного завантаження 100 тс відбувся злам рейки.

На рис. 5 наведено вигляд поперечного перерізу дослідного зразка рейки № 1 з обох боків зламу.



Рис. 5. Вигляд зламу дослідного зразка рейки № 1

Fig. 5. Type scrapped research sample rails No. 1

За результатами виконаного експерименту злам дослідного зразка рейки № 1 відбувся при навантаженні, що практично на порядок перевищує реальні експлуатаційні навантаження в умовах метрополітену. Як видно із рис. 5, поверхня класичного кристалічного зламу проходить через розшарування металу в робочій викружці головки дослідного зразка рейки № 1 (на рис. 5 видно горизонтальну полочку) і корозійну пляму в підшві з боку неробочої грані.

Дослідний зразок № 2. Глибина викришування металу на боковій робочій викружці головки рейки в середині дослідного зразка рейки № 2 складала $H = 1,9$ мм. Завантаження вертикальним статичним навантаженням виконувалося на головку рейки. Перший цикл статичного завантаження виконувався до 40 тс, другий – до 80 тс. У третьому циклі при досягненні статичного завантаження 100 тс стріла вигину рейки досягла критичного значення 57 мм, що через технічні можливості преса не дало змоги продовжити експеримент до зламу рейки. При цьому відламався кусок підшви рейки з боку неробочої грані.

На рис. 6 наведено вигляд вилученого із преса вигнутого підшвою вверх дослідного зразка рейки № 2 з відломленим куском підшви з боку неробочої грані рейки.



Рис. 6. Деформований зразок рейки № 2

Fig. 6. Deformed sample rails No. 2

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

За результатами виконаного експерименту стріла вигину дослідного зразка рейки № 2 при навантаженні 100 тс складала 57 мм, що перевищує нормативне значення стріли вигину 35 мм на 63 %. Як видно із рис. 7, поверхня відламування куску підшви рейки проходить через вм'ятину на кромці підшви дослідного зразка рейки № 2, яка ймовірно всього утворилася в результаті тривалої дії елементів проміжних скріплень.

Дослідний зразок № 3. Глибина викришування металу на боковій робочій викружці головки рейки в середині дослідного зразка рейки № 3 складала $H = 1,6$ мм. Завантаження вертикальним статичним навантаженням виконувалося на головку рейки. Перший цикл статичного завантаження виконувався до 40 тс, другий – до 92 тс. У третьому циклі при досягненні статичного завантаження 156 тс стріла вигину рейки досягла критичного значення 62 мм, що через технічні можливості пресу не дало змоги продовжити експеримент до зламу рейки.

На рис. 7 наведено вигляд вилученого із пресу вигнутого підшвою вгору дослідного зразка рейки № 3.



Рис. 7. Деформований зразок рейки № 3

Fig. 8. Deformed sample rails No. 3

За результатами виконаного експерименту стріла вигину дослідного зразка рейки № 3 при навантаженні 156 тс складала 62 мм, що перевищує нормативне значення стріли вигину 35 мм на 77 %.

Дослідний зразок № 4. Глибина викришування металу на боковій робочій викружці головки рейки в середині дослідного зразка рейки № 4 складала $H = 2,3$ мм. Завантаження вертикальним статичним навантаженням виконувалося на головку рейки. Перший цикл статичного завантаження виконувалося до 60 тс, другий – до 95 тс. У третьому циклі при досягненні статичного завантаження 140 тс стріла вигину рейки досягла критичного значення 47 мм, що

через технічні можливості пресу не дало змоги продовжити експеримент до зламу рейки.

На рис. 8 наведено вигляд вилученого із пресу вигнутого підшвою униз дослідного зразка рейки № 4.



Рис. 8. Деформований зразок рейки № 4

Fig. 8. Deformed sample rails No. 4

За результатами виконаного експерименту стріла вигину дослідного зразка рейки № 4 при навантаженні 140 тс складала 47 мм, що перевищує нормативне значення стріли вигину 35 мм на 34 %.

За результатами випробувань було побудовано (див. рис. 9) залежність стріли вигину від прикладеного завантаження для усіх дослідних зразків рейок.

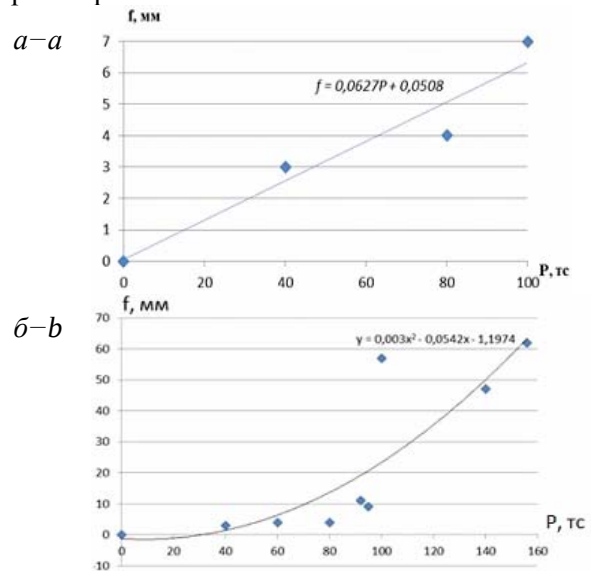


Рис. 9. Залежність стріли вигину від прикладеного завантаження для дослідних зразків рейок:

а – № 1; б – № 2, 3 і 4

Fig. 9. The dependence of applied boom bending

load rails prototypes:

а – No. 1; б – No. 2, 3 and 4

Результати

Результати експериментів свідчать про те, що на базі випробувань у 2 млн *циклів* відбувається лише незначний розвиток (збільшення розмірів) на 0,5–0,7 мм наявних дефектів коду 11.2 в результаті осипання часток викришеного металу на боковій робочій викружці головки дослідних зразків рейок. Інтенсивного, тим більше катастрофічного, розвитку дефектів типу 11.2 або перетворення цих дефектів в дефекти типу 21.2 або 30Г.2 не відбулося в жодному випадку.

Результати випробувань на циклічну витривалість на базі 2 млн *циклів* з навантаженням, що відповідає експлуатаційним динамічним колісним навантаженням від вагонів метрополітену $P_{дин}^{max} = 90,0$ кН, показали, що рейки з дефектами коду 11.2, які вилучені з експлуатації згідно з вимогами діючих ТУ, можуть мати залишковий ресурс експлуатації не менше ніж $N = 2,0$ млн *циклів* колісних навантажень (що відповідає приблизно 25–30 млн т брутто пропущеного тоннажу).

Результати експерименту свідчать, що при статичному поперечному триточковому завантаженні дослідних зразків рейок типу Р50 відбувається трансформація дефектів за кодом 11.2 в дефекти за кодом 30Г.2, але досягти таких навантажень в реальних умовах експлуатації метрополітену неможливо.

Наукова новизна та практична значимість

Вперше в Україні теоретичними розрахунками обґрунтовано велику вірогідність утворення дефектів контактно-втомного походження у вигляді викришування і вищерблювання металу на поверхні кочення рейки, біля краю головки, в результаті створення високого ступеня напруженого нерівноважного стиску в цій зоні, за рахунок високих значень головних нормальних напружень і появи великих дотичних напружень в тілі головки на глибині 2,5–3,5 мм, які перевищують межу текучості і витривалості металу.

Виконані стендові експериментальні випробування дослідних зразків дефектних рейок на багатоциклову витривалість (на базі $N_0 = 2,1 \times 10$ *циклів*) з періодичним дефектоскопним контролем.

Результати виконаних стендових лабораторних випробувань дослідних зразків дефектних рейок з дефектами контактно-втомного типу, що були вилучені з експлуатації згідно з діючими нормативами, дозволили визначити залишковий ресурс для дефектних рейок типу Р50 для умов експлуатації метрополітену.

На основі виконаних досліджень розроблені нові нормативні терміни служби рейок типів Р50 і Р65 для різних категорій колій для умов експлуатації Київського метрополітену; нові норми збільшено відносно існуючих на 33 %.

Висновки

1. При періодичному дефектоскопному контролі під час експериментальних пульсаційних досліджень не зафіксовано появу або розвитку поперечних тріщин за дефектами кодів 21.2 і 30Г.2.

2. Випробування зразків рейок при статичному поперечному триточковому вигині показали, що рейки типу Р50 метрополітену відповідають встановленим найменшим значенням показників міцності й пластичності, а саме: руйнівне навантаження при прикладенні вертикальної статичної сили на головку рейки 1 200 кН, на підшву рейки 1 000 кН, стріла вигину 35 мм. При цьому при прикладенні до рейки вертикальної статичної сили 1 000 кН на підшву рейки стався поперечний злам рейки, а при прикладенні до рейки вертикальної статичної сили більше ніж 1 000 кН на головку рейки відбувався вигин рейки без зламу з перевищенням найменшого значення стріли вигину на 34 % і більше.

3. Розшарування металу в робочій викружці головки дослідних зразків рейок відбувалося при статичному завантаженні близько 800 кН.

4. При експериментальних дослідженнях зразків рейок типу Р50 не спостерігалася трансформація дефектів за кодом 11.2 в утворення дефектів за кодом 21.2. Одним із пояснень такого результату може бути незначна глибина викришування металу по робочій викружці головки рейок в місці прикладення вертикальної статичної сили, яка при виконанні експерименту не перевищувала 2,3 мм.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агарков, О. В. Визначення контактних напружень в рейках типу Р50, які експлуатуються в метрополітені / О. В. Агарков, Р. М. Йосифович // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 4 (58). – С. 71–86. doi: 10.15802/stp2015-/49209.
2. Барабошин, В. Ф. Конструкции пути в метрополитенах с использованием упругих элементов для снижения виброшумовых факторов / В. Ф. Барабошин, А. А. Глonti // Ж.-д. трансп. за рубежом. Серия : Путь и путевое хоз-во. Проектирование и стр-во. – 1979. – Вып. 5. – 12 с.
3. Балух, Х. Диагностика верхнего строения пути : монография / Х. Балух. – Москва : Транспорт, 1981. – 451 с.
4. Беляев, Н. М. Сопротивление материалов / Н. М. Беляев. – Москва : Наука, 1965. – 856 с.
5. Бесстыковой путь / В. Г. Альбрехт, Е. М. Бромберг, Н. Б. Зверев [и др.]. – Москва : Транспорт, 1982. – 206 с.
6. Борц, А. И. К вопросу о качестве и условиях испытаний рельсов / А. И. Борц, Е. А. Шур, В. А. Рейхарт // Путь и путевое хоз-во. – 2012. – № 1. – С. 14–19.
7. Георгиев, М. Дефектостойкость железнодорожных рельсов : [пер. с болгар.] / М. Георгиев. – София : Транспорт, 1999. – 266 с.
8. Мелентьев, Л. П. Содержание и ремонт рельсов / Л. П. Мелентьев, В. Л. Порошин, С. И. Фадеев. – Москва : Транспорт, 1984. – 231 с.
9. Метчел, А. Исследования и моделирование динамических сил взаимодействия пути и подвижного состава на ЭВМ : докл. на конф. Америк. общ. инж. механиков по ж.-д. технике : [пер. с англ.] / А. Метчел. – Москва : Транспорт, 1969. – 11 с.
10. Технічні умови на експлуатацію рейок на коліях Київського метрополітену / Е. І. Даніленко, М. І. Карпов, В. В. Косарчук [та ін.]. – Київ : Київ. метрополітен : ДЕДУТ, 2015. – 17 с.
11. Тимошенко, С. П. Напряжения в железнодорожном рельсе / С. П. Тимошенко // Статист. и динам. проблемы теории упругости. – Киев : Наукова думка, 1975. – С. 318–355.
12. Цуканов, П. П. Установление норм периодичности смены рельсов и основные принципы повторного использования старогодных рельсов / П. П. Цуканов // Тр. ЦНИИ МПС. – Москва, 1965. – Вып. 292. – С. 184–231.
13. Шахунянц, Г. М. Испытания рельсов на выносливость / Г. М. Шахунянц, М. Б. Смирнова, Л. В. Глазкова // Тр. МИИТа. – Москва, 1977. – Вып. 543. – С. 30–37.
14. Яковлев, В. Ф. Измерение деформаций и напряжений деталей машин / В. Ф. Яковлев. – Москва ; Ленинград : Машгиз, 1963. – 192 с.
15. Numerical Analysis for predicting the rolling contact fatigue crack initiation in a railway wheel steel / M. Taraf, E. H. Zahaf, O. Oussouaddi, A. Zegloul // Tribology Intern. – 2010. – Vol. 43. – Iss. 3. – P. 585–593. doi: 10.1016/j.triboint.-2009.09.007.
16. Seo, J. Effects of surface defects on rolling contact fatigue of rail / J. Seo, S. Kwon, D. Lee // Procedia Engineering. – 2011. – Vol. 10. – P. 1274–1278. doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.212.
17. Seo, J. Numerical stress analysis and rolling contact fatigue of White Etching Layer on rail steel / J. Seo, S. Kwon, H. Jun, D. Lee // Intern. J. of Fatigue. – 2011. – Vol. 33. – Iss. 2. – P. 203–211. doi: 10.1016/j.ijfatigue.2010.08.007.

Р. Н. ЙОСИФОВИЧ^{1*}

^{1*}Каф. «Железнодорожный путь и путевое хозяйство», Государственный экономико-технологический университет транспорта, ул. Н. Лукашевича, 19, Киев, Украина, 03049, тел. +38 (044) 591 51 47, эл. почта yosyfovich@gmail.com, ORCID 0000-0003-3892-3727

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕФЕКТНЫХ РЕЛЬСОВ ТИПА Р 50 ПО ИСПЫТАНИЮ НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ВЫНОСЛИВОСТЬ

Цель. Статья посвящена изучению и оценке остаточного ресурса для дефектных рельсов типа Р50, эксплуатируемых на путях Киевского метрополитена, которые изымаются из эксплуатации из-за наличия дефектов типа 11.1-2 на боковой выкружке поверхности катания головки рельса. **Методика.** Исследования выполнены с применением экспериментальных методов: испытания образцов дефектных рельсов на циклическую прочность на пульсационной машине и испытания образцов дефектных рельсов на статическую предельную нагрузку на гидравлическом вертикальном прессе. **Результаты.** Проведенные эксперименты

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

свидетельствуют о том, что на базе испытаний в 2 млн. циклов происходит лишь незначительное развитие (увеличение размеров) на 0,5–0,7 мм имеющихся дефектов кода 11.2 в результате осыпания частиц выкрошенного металла на боковой рабочей выкружке головки опытных образцов рельсов. Интенсивного, тем более катастрофического, развития дефектов типа 11.2, или преобразования этих дефектов в дефекты типа 21.2 или 30Г.2 не произошло ни в коем случае. **Научная новизна.** Впервые в Украине теоретическими расчетами обосновано большую вероятность образования дефектов контактно-усталостного происхождения в виде выкрашивания и выщербливания металла на поверхности катания рельса, у края головки. Это происходит в результате создания высокой степени напряженного неравновесного сжатия в этой зоне, за счет высоких значений главных нормальных напряжений и появления больших касательных напряжений в теле головки на глубине 2,5–3,5 мм, превышающих предел текучести и выносливости металла. Проведены стендовые экспериментальные испытания опытных образцов дефектных рельсов на многоцикловую выносливость (на базе $N_0 = 2,1 \times 10$ циклов) с периодическим дефектоскопным контролем. **Практическая значимость.** В результате экспериментов получены новые данные о способности сопротивления рельсов с дефектами выкрашивания на поверхности катания головки по коду 11.1-2 длительным циклическим нагрузкам величиной равной эксплуатационной колесной нагрузке на базе испытаний в 2 млн циклов. То есть, дефектные рельсы могут иметь остаточный ресурс не менее 30 млн т. брутто.

Ключевые слова: железнодорожный путь; рельс; дефекты; циклические нагрузки

R. M. YOSYFOVYCH^{1*}

^{1*}Dep. «Railway Track and Track Facilities», State Economic and Technological University of Transport, Lukashevich St., 19, Kyiv, Ukraine, 03049, tel. +38 (044) 591 51 47, email yosyfovych@gmail.com, ORCID 0000-0003-3892-3727

RESIDUAL RESOURCE STUDY OF DEFECTIVE RAILS FOR TYPE P 50 CYCLE TEST OF ENDURANCE

Purpose. The paper is devoted to the study and evaluation of residual life for defective rails P50 operated on the roads of the Kyiv subway, which are taken out of service because of defects 11.1-2 on the side of the rolling surface of the rail head. **Methodology.** The studies were performed with the use of experimental methods: testing of samples of defective rails in the cyclical strength of the pulse machine and testing of defective rails in the static load limit on the hydraulic vertical press. **Findings.** The performed experiments indicate that on the tests basis in 2 million cycles is only a small development (increase in size) 0.5-0.7 mm of existing code defects 11.2 as a result of shedding the particles of crumble out metal on the side of the rails head of working prototypes. The intensity and the catastrophic development of defects, such as 11.2, or transformation of these defects in defects such as 21.2 or 30G.2 did not happen in any case. **Originality.** For the first time in Ukraine with the theoretical calculations substantiated the greater possibility of defects formation of contact fatigue origin in the form of spall and jag of metal on the surface of the rail, at the edge of the head. It is the result of the creation of a high degree of stress non-equilibrium compression in this area, due to the high values of principal normal stresses and appearance of large shear stresses in the body of the head at a depth of 2.5-3.5 mm, exceeding the yield strength and metal endurance. The tests of experimental prototypes of defective rails on high cycle endurance (based $N_0 = 2,1 \times 10$ cycles) with periodic defectoscopic control were conducted. **Practical value.** In experiments, the new data of the resistance ability to spall rail defects on the surface of the head of rolling on the code 11.1-2 long-term cyclic loading equal to operational magnitude at the wheel load test of 2 million cycles was obtained. That is, the defective rails can have residual life of not less than 30 million. t. gross.

Keywords: railroad; rail; defects; cyclic loading

REFERENCES

1. Aharkov O.V., Yosyfovych R.M. Vyznachennia kontaktnykh napruzhen v reikakh typu R50, yaki ekspluatuiutsia v metropoliteni [Determination of contact stresses in the rails p50, which are operated in the metro]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 4 (58), pp. 71-86. doi: 10.15802/stp2015/49209.
2. Baraboshin V.F., Glonti A.A. Konstruktsii puti v metropolitenakh s ispolzovaniyem uprugikh elementov dlya snizheniya vibroshumovykh faktorov [Track design in the subways with the use of elastic elements to reduce

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- the vibration noise factors]. *Zheleznodorozhnyy transport za rubezhom. Seriya: Put i putevoye khozyaystvo. Proektirovaniye i stroitelstvo* [Railway transport abroad. Series: Track and track facilities. The design and construction], 1979, issue 5. 12 p.
3. Balukh Kh. *Diagnostika verkhnego stroyeniya puti* [Diagnostics of permanent way]. Moscow, Transport Publ., 1981. 451 p.
 4. Belyaev N.M. *Soprotivleniye materialov* [Structural resistance]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 856 p.
 5. Albrekht V.G., Bromberg Ye.M., Zverev N.B. *Besstykovoy put* [Continuous welded rail]. Moscow, Transport Publ., 1982. 206 p.
 6. Borts A.I., Shur Ye.A., Reykhart V.A. K voprosu o kachestve i usloviyakh ispytaniy relsov [To the question of the quality and test conditions of the rails]. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities*, 2012, no. 1, pp. 14-19.
 7. Georgiyev M. *Defektostoykost zheleznodorozhnykh relsov* [Defects resistance of rails]. Sofiya, Transport Publ., 1999. 266 p.
 8. Melentev L.P., Poroshin V.L., Fadeyev S.I. *Soderzhaniye i remont relsov* [Maintenance and repair of rails]. Moscow, Transport Publ., 1984. 231 p.
 9. Metchel A. *Issledovaniya i modelirovaniye dinamicheskikh sil vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava na EVM* [Studies and modeling of dynamic forces of track and rolling stock interaction on the computer]. Moscow, Transport Publ., 1969. 11 p.
 10. Danilenko E.I., Karpov M.I., Kosarchuk V.V., Tverdomed V.M., Boiko V.D., Molchanov V.M., Yosyfovich R.M. Metchel A. *Tekhnichni umovy na ekspluatatsiiu relok na koliiakh Kyivskoho metropolitenu* [Technical specifications for operation of the rails on the tracks of the Kiev metro]. Kyiv, Kyivskyi metropoliten, DETUT Publ., 2015. 17 p.
 11. Timoshenko S.P. *Napryazheniya v zheleznodorozhnom relse* [Stresses in a railway rail]. *Statisticheskiye i dinamicheskiye problemy teorii uprugosti* [Statistical and dynamic problems of the elasticity theory]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1975, pp. 318-355.
 12. Tsukanov P.P. *Ustanovleniye norm periodichnosti smeny relsov i osnovnyye printsipy povtornogo ispolzovaniya starogodnykh relsov* [Setting standards the periodicity of the shift rails and the basic principles of re-use of old rails]. *Trudy Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of All-Russian Scientific Research Institute of Railway Transport], 1965, issue 292, pp. 184-231.
 13. Shakhunyan G.M., Smirnova M.B., Glazkova L.V. *Ispytaniya relsov na vynoslivost* [Rails tests of endurance]. *Trudy Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Proc. of Moscow State University of Railway Engineering]. Moscow, 1977, issue 543, pp. 30-37.
 14. Yakovlev V.F. *Izmereniye deformatsiy i napryazheniy detaley mashin* [Measurement of deformations and stresses of machine details]. Moscow, Leningrad, Mashgiz Publ., 1963. 192 p.
 15. Taraf M., Zahaf E.H., Oussouaddi O., Ze-ghloul A. Numerical Analysis for predicting the rolling contact fatigue crack initiation in a railway wheel steel. *Tribology Intern.*, 2010, vol. 43, issue 3, pp. 585-593. doi: 10.1016/j.triboint.2009.09.007.
 16. Seo J., Kwon S., Lee D. Effects of surface defects on rolling contact fatigue of rail. *Procedia Engineering*, 2011, vol. 10, pp. 1274-1278. doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.212.
 17. Seo J., Kwon S., Lee D. Numerical stress analysis and rolling contact fatigue of White Etching Layer on rail steel. *Intern. Journal of Fatigue*, 2011, vol. 33, issue 2, pp. 203-211. doi: 10.1016/j.ijfatigue.2010.08.007.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна); науковим комітетом Міжнародної науково-практичної конференції імені д.т.н. Сокола Едуарда Миколайовича «Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд»

Надійшла до редколегії 25.09.2015

Прийнята до друку 19.11.2015

УДК 625.173.6

О. М. ПАТЛАСОВ¹, С. О. ТОКАРЕВ^{2*}

¹Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, ел. пошта am_patlasov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2081-5648

^{2*}Каф. «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, ел. пошта tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123

РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ З'ЄДНАННЯ ЗБІРНОГО ДЕРЕВ'ЯНОГО БРУСА ДЛЯ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

Мета. Дефіцит матеріалів для елементів верхньої будови колії (ВБК) призводить до необхідності перегляду норм повторного використання старопридатних об'єктів після їх заміни або ремонту. Як приклад, можна привести наступний факт: після зношення в підрейковій зоні дерев'яних шпал і брусів або інших дефектів, які забороняють їх подальшу експлуатацію, гостро постає питання щодо їх планової заміни. Зазвичай, необхідний мінімальний запас шпал завжди є у розпорядженні обслуговуючих колію бригад. Що стосується дерев'яних брусків, довжина яких на стрілочному переводі досягає 5 м, – не завжди в короткий термін існує можливість оперативно їх замінити, зважаючи на відсутність даного типорозміру. Тому в роботі запропоновані та обґрунтовані геометричні розміри елементів з'єднання двох полубрусів або шпал в єдину жорстку конструкцію, яка за своїми характеристиками не відрізняється від суцільного бруса. **Методика.** Авторами розглянуто алгоритм розрахунку поєднання дерев'яних елементів та математичні моделі, які описують пружні властивості основи. Визначено найбільш адекватну методику, яка в повній мірі характеризує процеси взаємодії бруса у вигляді балки кінцевої довжини на баласті. **Результати.** Якісна й кількісна верифікація результатів показала дуже добрий збіг отриманих значень згинальних моментів, поперечних сил і прогинів методом кінцевих різниць (МКР) та аналітичним методом. Це дає підстави стверджувати, що отримані геометричні розміри нагельного з'єднання можна рекомендувати працівникам колійного господарства для поєднання дерев'яних шпал у брус на стрілочних переводах і навіть з'їздах. **Наукова новизна.** Дослідниками були обґрунтовані геометричні розміри нагельного з'єднання двох дерев'яних шпал у брус для застосування на стрілочних переводах. **Практична значимість.** Запропонована конструкція з'єднання дає можливість повторного застосування старопридатних відремонтованих дерев'яних шпал і брусків. Дану конструкцію можна застосовувати не тільки для поєднання звичайних дерев'яних шпал у брус потрібної довжини, а й для створення з полушпал єдиної конструкції для малонавантажених ділянок станційних і під'їзних колій.

Ключові слова: шпала; брус; пружна основа; нагельне з'єднання; метод кінцевих різниць

Вступ

Одним з пріоритетів розвитку залізничного транспорту України впродовж кількох останніх років є зменшення питомих витрат енергоресурсів та матеріалоємності основних фондів [14]. Цей напрямок стосується як Укрзалізниці в цілому, так і роботи його окремих господарств. Колійне господарство, як невід'ємна частина залізничного транспорту, за яким закріплена функція обслуговування та ремонту колійної інфраструктури, безпосередньо може вплинути на знос основних фондів всієї галузі. Зокрема залізничної колії, на долю якої припадає більше половини загальної вартості основних фондів залізниці [11].

Скоротити витрати на поточне утримання і ремонт колії та стрілочних переводів можна за рахунок нових ідей щодо удосконалення існуючих елементів і їх конструкцій [10]. Одним з таких напрямків є впровадження ресурсозберігаючих технологій з ремонту та укладання дерев'яних брусків.

Внаслідок великої вартості деревини виготовляти суцільні дерев'яні бруси, довжина яких досягає 5,00 м, достатньо дорого. До того ж термін зростання лісу, як сировини для виробництва, що належить до категорії не повністю поновлюваних ресурсів, складає приблизно 20–25 років, а виконання поточного утримання і ремонтів необхідне впродовж всього періоду експлуатації колії. Тому пропонується зменши-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ти витрати деревини при виготовленні брусів за рахунок поєднання нових або старопридатних відремонтованих шпал у брус за допомогою нагельного з'єднання, що складається з двох накладок та болтів, які об'єднують все в єдину конструкцію [4] (рис. 1).

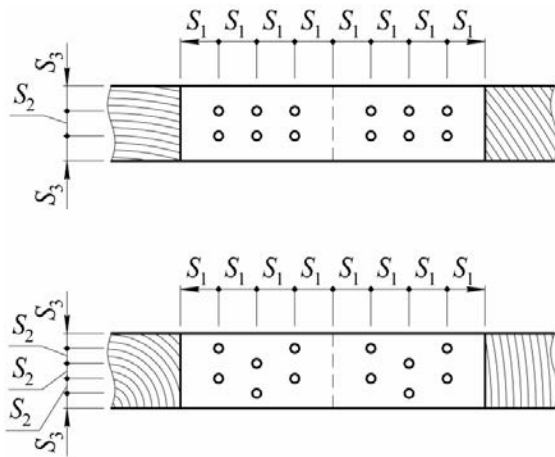


Рис. 1. Порядок розташування нагелів:
а – пряме розташування; б – розташування
в шаховому порядку

Fig. 1. The order of the nog:
a – direct location; b – staggered location

Мета

Утримання і ремонт колії у справному стані – одне з найголовніших пріоритетних завдань робітників колійного господарства. Від своєчасних та якісних заходів з відновлення основних функцій залізничної колії безпосередньо залежить не тільки безпека руху, а й регламент встановленого перевізного та пропускового процесу. Враховуючи вище сказане, необхідно запропонувати таку конструкцію з'єднання двох напівбрусів або шпал, яка б дозволила не тільки знизити витрати часу на ремонт та заміну, а й скоротити затрати матеріальних ресурсів.

Методика

Розрахунок нагельних з'єднань виконується за умовою міцності на:

- згин нагеля;
- зминання елементів з'єднання.

Несуча здатність циліндричного нагеля на один шов з'єднувальних елементів визначається за формулою [4]:

$$T = \min \begin{cases} T_{зг}^o = T_{зг}^o \sqrt{m_n m_b k_a k_n}; \\ T_{зм}^o = T_{зм}^o m_n m_b k_a k_n, \end{cases} \quad (1)$$

де $T_{зг}^o, T_{зм}^o$ – розрахункова несуча здатність циліндричного нагеля при згині та зминанні відповідно; m_n – коефіцієнт, який враховує породи деревини; m_b – коефіцієнт, який залежить від температурно-вологих умов експлуатації; k_a – коефіцієнт напрямку дії навантаження; k_n – коефіцієнт, який залежить від типу нагеля.

Розрахункова несуча здатність нагеля в з'єднанні приймається найменшою зі значень $T_{зг}^o$ і $T_{зм}^o$. Для зменшення розтріскування шпал, які поєднуються у брус, оберемо шаховий порядок розташування нагеля (рис. 2).

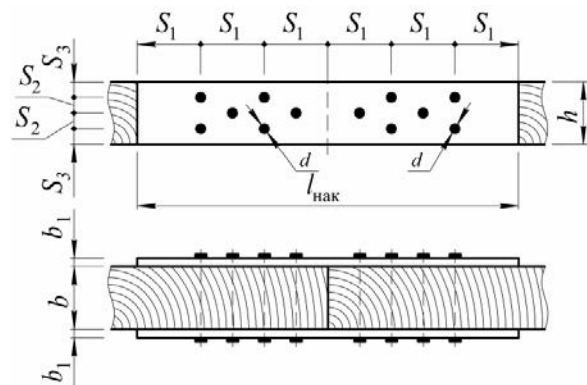


Рис. 2. Розрахункова схема
нагельного з'єднання двох шпал накладками

Fig. 2. Connection nog design scheme
of two elements by plates

Кількість нагелей (болтів) в з'єднанні визначається за формулою [4]:

$$n_n = N/T n_{ш} \geq 2, \quad (2)$$

де N – розрахункове зусилля; T – найменша розрахункова несуча здатність одного нагеля (болта) в з'єднанні; $n_{ш}$ – кількість розрахункових швів одного нагеля.

Число 2 в формулі (2) вказує на те, що кількість болтів не повинна бути менше ніж вказане значення.

Для сталевих циліндричних болтів $S_1=7d$, $S_2=3,5d$, $S_3=3d$ [4]. Відповідно до рис. 2 $h=2S_2+2S_3=13d$. При висоті обрізної шпали типу I $h=18$ см діаметр отворів повинен складати $d=14$ мм.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Далі необхідно визначити товщину накладок b_1 . Припустимо, що в стику з'єднання тільки накладки чинять опір прикладеному навантаженню. Тоді, використовуючи умову міцності при згині за найбільшими нормальними напруженнями (беручи до уваги, що поперечний переріз накладки має прямокутну форму), отримаємо товщину однієї накладки:

$$b_1 \geq 3M_{\max}/[\sigma] h^2, \quad (3)$$

де $M_{\max}$ – максимальний згинальний момент; $[\sigma]$ – допустимі напруження в накладках. Для сталі, наприклад, марки Ст5 складає 200 МПа [1].

Максимальний згинальний момент можна визначити, розглянувши балку кінцевої довжини, яка лежить на суцільній пружній основі.

На сьогодні існує багато розрахункових моделей ґрунтової основи, які, наприклад в [12], чітко класифіковані та критично проаналізовані. Але для практичного застосування найчастіше застосовують однопара-метричну модель, яка заснована на гіпотезі Фусса-Вінклера [3, 8, 13, 17] і більш складну двопараметричну модель Власова і Пастернака [6, 17, 18].

Як показує досвід, для інженерного розрахунку, достатньо моделі Фусса-Вінклера [2]. Пов'язано це, перш за все, з тим, що баластний шар, на відміну від звичайного ґрунту, має набагато більший розмір частинок, і, відповідно, інший зв'язок між ними. Тому для подальшого аналізу розглядаємо модель пружної основи Фусса-Вінклера.

Оберемо систему координат балки (рис. 3), для якої приймемо наступне:

– розподілене навантаження q та зосереджена сила F додатні, якщо вони направлені вгору;

– згинальний зосереджений момент M додатний, якщо він направлений за годинниковою стрілкою.

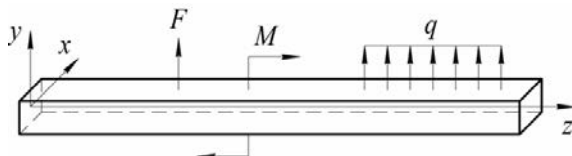


Рис. 3. Система координат балки на суцільній пружній основі

Fig. 3. The coordinate system of the beam on a continuous elastic foundation

Загальноприйняті диференційні співвідношення для балки постійного перерізу на суцільній основі мають вигляд:

$$\varphi_z = \frac{dy(z)}{dz}; \quad (4)$$

$$-\frac{M_z}{EI} = \frac{d^2y(z)}{dz^2}; \quad (5)$$

$$-\frac{Q_z}{EI} = \frac{d^3y(z)}{dz^3}; \quad (6)$$

$$\frac{q_z - r_z}{EI} = \frac{d^4y(z)}{dz^4}, \quad (7)$$

де φ_z , Q_z , M_z , q_z – кут повороту, поперечна сила, згинальний момент та зовнішнє поперечне навантаження; EI – поперечна жорсткість балки; r_z – реактивний опір основи, який складає:

$$r = k y(z), \quad (8)$$

k – коефіцієнт пропорційності:

$$k = k_0 b, \quad (9)$$

k_0 – коефіцієнт постелі балки; b – ширина балки понизу.

Для розв'язання рівнянь (4)–(7) застосуємо наближений числовий метод – МКР. Підтвердження правильності отриманих результатів виконаємо за допомогою аналітичного методу, так званого методу граничних параметрів.

Перший метод заснований на заміні диференційного рівняння задачі системою лінійних алгебраїчних рівнянь через різницю значень функції в конкретних точках [9, 15]. Тобто значення похідної функції $y(z)$ в точці дорівнює відношенню різниці значень функції в сусідніх суміжних вузлових точках до відстані між вказаними вузловими точками:

$$\left(\frac{dy}{dz}\right)_i \cong \left(\frac{\Delta y}{\Delta z}\right)_i \approx \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2S}, \quad (10)$$

де S – крок (інтервал) між вузловими точками.

Використовуючи формулу (10), запишемо вирази для похідних більш високого порядку:

$$\left(\frac{d^2y}{dz^2}\right)_i \approx \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{S^2}; \quad (11)$$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

$$\left(\frac{d^3 y}{dz^3}\right)_i \approx \frac{y_{i+2} - 2y_{i+1} + 2y_{i-1} - y_{i-2}}{2S^3}; \quad (12)$$

$$\left(\frac{d^4 y}{dz^4}\right)_i \approx \frac{y_{i+2} - 4y_{i+1} + 6y_i - 4y_{i-1} + y_{i-2}}{S^4}. \quad (13)$$

Враховуючи (7) та (13), остаточно отримаємо рівняння, яке безпосередньо пов'язує прогини з навантаженням у вузлах:

$$y_{i+2} - 4y_{i+1} + 6y_i - 4y_{i-1} + y_{i-2} = \frac{(q_i - r_i)S^4}{EI}, \quad (i = 0, 1, 2, \dots, n). \quad (14)$$

Розіб'ємо балку на n рівних частин (рис. 4).

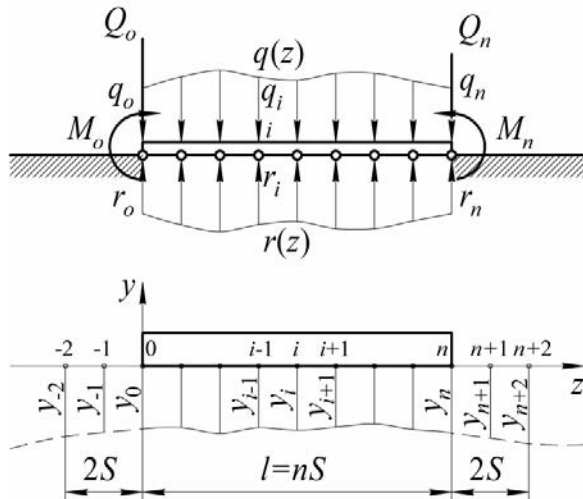


Рис. 4. Дискретизація балки на суцільній пружній основі:
а – загальна схема можливого навантаження кінців;
б – умовна лінія прогинів під навантаженням

Fig. 4. The beam discretization on a continuous elastic foundation:
а – general scheme of possible load on the beam ends;
b – conventional deflection line from the load

Якщо записати рівняння для кожної контактної точки, то отримаємо $n+1$ лінійних алгебраїчних рівнянь з $n+5$ невідомими.

Значення прогинів за кінцями балки y_{-2} , y_{-1} , y_{n+1} , y_{n+2} , встановлюються на підставі граничних умов закріплення балки та врахуванням вищезгаданих виразів.

– для точки 0

$$y_2 - 4y_1 + 6y_0 - 4y_{-1} + y_{-2} = \frac{(q_0 - r_0)S^4}{EI};$$

– для точки 1

$$y_3 - 4y_2 + 6y_1 - 4y_0 + y_{-1} = \frac{(q_1 - r_1)S^4}{EI};$$

– для точки $n-1$

$$y_{n+1} - 4y_n + 6y_{n-1} - 4y_{n-2} + y_{n-3} = \frac{(q_{n-1} - r_{n-1})S^4}{EI};$$

– для точки n

$$y_{n+2} - 4y_{n+1} + 6y_n - 4y_{n-1} + y_{n-2} = \frac{(q_n - r_n)S^4}{EI}.$$

При $z=0$, $M=M_0$, $Q=Q_0$

$$y_{-1} = -\frac{M_0 S^2}{EI} + 2y_0 - y_1;$$

$$y_{-2} = \frac{2S^2}{EI}(Q_0 S - M_0) + 4y_0 - 4y_1 + y_2. \quad (15)$$

При $z=l$, $M=M_n$, $Q=Q_n$

$$y_{n+1} = -\frac{M_n S^2}{EI} - y_{n-1} + 2y_n;$$

$$y_{n+2} = -\frac{2S^2}{EI}(Q_n S + M_n) + y_{n-2} - 4y_{n-1} + 4y_n. \quad (16)$$

У випадку, коли кінці балки ненавантажені, тобто $M=M_0=M_n=0$ та $Q=Q_0=Q_n=0$, значення прогинів можуть бути визначені у матричному вигляді:

$$\{y\} = [A]^{-1} \frac{S^4}{EI} (\{q\} - \{r\}), \quad (17)$$

де $\{y\} = \{y_0, y_1, \dots, y_n\}$ – вектор невідомих прогинів в кожній контактній точці; $[A]$ – матриця, елементами якої виступають значення при невідомих прогинах y ; $\{q\} = \{q_0, q_1, \dots, q_n\}$ – вектор зовнішнього навантаження в вузлах балки; $\{p\} = \{p_0, p_1, \dots, p_n\}$ – вектор реактивного тиску у відповідних вузлах балки.

За визначеними значеннями величин прогинів в кожній точці встановлюються відповідні кути повороту, згинальні моменти та поперечні сили.

Розглянемо аналітичний метод (АМ). Для балки, яка лежить на пружній основі, рівняння пружної лінії має вигляд [13]

$$EI_x y_z = EI_x y_o A_z + EI_x \frac{\varphi_o}{\beta} B_z + \frac{M_o}{\beta^2} C_z + \frac{Q_o}{\beta^3} D_z + EI_x f(\beta z), \quad (18)$$

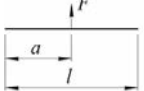
де y_o – прогин в лівому перерізі; φ_o – кут повороту лівого перерізу; M_o, Q_o – згинальний момент та поперечна сила для лівого перерізу відповідно; $f(\beta z)$ – вплив навантаження, яке знаходиться в межах балки (табл. 1).

Таблиця 1

Функції $f(\beta z)$ та їх похідні

Table 1

Functions $f(\beta z)$ and their derivatives

Схема завантаження	Значення функції			
	$f(\beta \cdot z)$	$f'(\beta \cdot z)$	$f''(\beta \cdot z)$	$f'''(\beta \cdot z)$
	$\frac{FD_{z-a}}{\beta^3}$	$\frac{FC_{z-a}}{\beta^2}$	$\frac{FB_{z-a}}{\beta}$	FA_{z-a}

A_z, B_z, C_z, D_z – гіпербол-тригонометричні функції (функції Кривої), які визначаються за формулами [13]:

$$A_z = \text{ch}(\beta z) \cos(\beta z);$$

$$B_z = \frac{1}{2} [\text{ch}(\beta z) \sin(\beta z) + \text{sh}(\beta z) \cos(\beta z)];$$

$$C_z = \frac{1}{2} \text{sh}(\beta z) \sin(\beta z);$$

$$D_z = \frac{1}{4} [\text{ch}(\beta z) \sin(\beta z) - \text{sh}(\beta z) \cos(\beta z)], \quad (19)$$

де β – основна характеристика рівняння згину бруса як балки на пружній основі, см^{-1} ;

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI_x}}. \quad (20)$$

Для отримання рівняння кутів повороту продиференціюємо рівняння (18), використовуючи дані табл. 2.

Таблиця 2

Функції A_z, B_z, C_z, D_z і їх похідні до розрахунку балок на суцільній пружній основі

Table 2

 A_z, B_z, C_z, D_z functions and their derivatives for calculating continuous beams on elastic foundation

Функції	Похідні			
	Перша	Друга	Третя	Четверта
A_z	$-4\beta D_z$	$-4\beta^2 C_z$	$-4\beta^3 B_z$	$-4\beta^4 A_z$
B_z	βA_z	$-4\beta^2 D_z$	$-4\beta^3 C_z$	$-4\beta^4 B_z$
C_z	βB_z	$\beta^2 A_z$	$-4\beta^3 D_z$	$-4\beta^4 C_z$
D_z	βC_z	$\beta^2 B_z$	$\beta^3 A_z$	$-4\beta^4 D_z$

$$EI_x \varphi_z = -4EI_x \beta y_o D_z + EI_x \varphi_o A_z + \frac{M_o}{\beta} B_z + \frac{Q_o}{\beta^2} C_z + EI_x f'(\beta \cdot z). \quad (21)$$

Рівняння для згинальних моментів та поперечних сил отримаємо, продиференціювавши вираз (18) двічі і тричі відповідно, а також помноживши на EI (оскільки жорсткість при згинанні входить до диференційного рівняння зігнутої осі балки):

$$M_z = -4EI_x \beta^2 y_o C_z - 4EI_x \beta \varphi_o D_z + M_o A_z + \frac{Q_o}{\beta} B_z + EI_x f''(\beta \cdot z); \quad (22)$$

$$Q_z = -4EI_x \beta^3 y_o B_z - 4EI_x \beta^2 \varphi_o C_z - 4\beta M_o D_z + Q_o A_z + EI_x f'''(\beta \cdot z). \quad (23)$$

Брус завантажений двома зосередженими силами Q_1 і Q_2 та реакціями ненавантажених рейок R_1 і R_2 (рис. 5). Прийемо, що на обидві рейкові нитки передаються однакові навантаження:

$$Q_1 = Q_2 = \frac{\beta \cdot l_6}{2} P_{\text{екв}}^{\text{II}}, \quad (24)$$

де l_6 – відстань між опорами; $P_{\text{екв}}^{\text{II}}$ – сила, що еквівалентна від дії усіх коліс екіпажа [2].

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

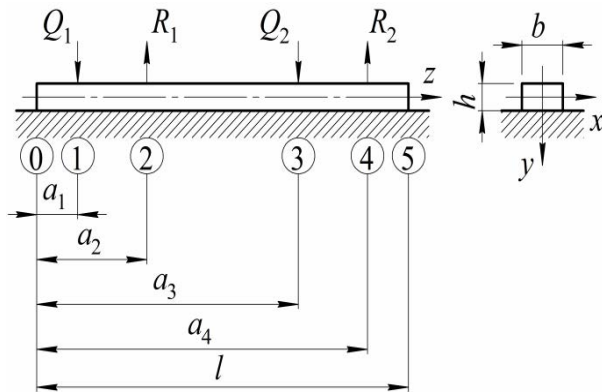


Рис. 5. Схема дії сил на дерев'яний брус

Fig. 5. The action of forces on a wooden beam

Реакції ненавантажених рейок можна врахувати таким чином [5]:

$$R = -K_k y_o c b l, \quad (25)$$

де K_k – коефіцієнт, який враховує конструктивні зв'язки ненавантаженої рейкової нитки та пружної основи; y_o – прогин бруса в перерізі під ненавантаженою ниткою від впливу сил на навантажені рейки; c – коефіцієнт постелі бруса; l – довжина бруса.

Розіб'ємо брус на 5 ділянок (рис. 5), щоб границі кожної з них закінчувались зміною навантаження (тобто визначались прикладеними силовими факторами).

Необхідно записати рівняння y_z, φ_z, M_z, Q_z для кожної окремої ділянки бруса, тобто для ділянок 0–1, 1–2, 2–3, 3–4 та 4–5, але такий запис буде мати багато рівнянь. Оскільки балка лежить вільно на пружній основі, тому граничні умови для цього закріплення зліва:

$$\begin{aligned} Q_o &= Q|_{x=0} = 0; \\ M_o &= M|_{x=0} = 0; \\ \varphi_o &= \varphi|_{x=0} \neq 0; \\ y_o &= y|_{x=0} \neq 0. \end{aligned} \quad (26)$$

Запишемо універсальні рівняння для усього бруса:

$$\left\{ \begin{aligned} EI_x y_z &= EI_x y_o A_z + EI_x \frac{\varphi_o}{\beta} B_z + \\ &+ \frac{1}{\beta^3} \sum_{\forall a_i < z} F_i D_{z-a_i}; \\ EI_x \varphi_z &= -4EI_x \beta y_o D_z + EI_x \varphi_o A_z + \\ &+ \frac{1}{\beta^2} \sum_{\forall a_i < z} F_i C_{z-a_i}; \\ M_z &= -4EI_x \beta^2 y_o C_z - 4EI_x \beta \varphi_o D_z + \\ &+ \frac{1}{\beta} \sum_{\forall a_i < z} F_i B_{z-a_i}; \\ Q_z &= -4EI_x \beta^3 y_o B_z - 4EI_x \beta^2 \varphi_o C_z + \\ &+ \sum_{\forall a_i < z} F_i A_{z-a_i}, \end{aligned} \right. \quad (27)$$

де F_i – поперечні сили, що діють на брус.

Запишемо частинний розв'язок диференційного рівняння (18) для випадку, зображеного на рис. 5, враховуючи величини R_1 і R_2 , і включимо в рівняння індекси характерних перерізів «2», «3», «4» та «5», в межах яких діє прикладене навантаження:

$$EI_x f(\beta \cdot z) = -\frac{1}{\beta^3} \left(Q_1 D_{z-a_1} \Big|_2 - R_1 D_{z-a_2} \Big|_3 + Q_2 D_{z-a_3} \Big|_4 - R_2 D_{z-a_4} \Big|_5 \right). \quad (28)$$

Визначимо дві інші граничні умови для цієї розрахункової схеми, маючи на увазі, що правий кінець балки також не закріплений. Отже, при $Q_o = Q|_{x=l} = 0$, $M_o = M|_{x=l} = 0$, $\varphi_o \neq \varphi|_{x=l} \neq 0$ та $y_o \neq y|_{x=l} \neq 0$ з двох останніх рівнянь системи (27) отримаємо y_0 і φ_0 :

$$\begin{bmatrix} EI_x y_o \\ EI_x \varphi_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4\beta^2 C_l & -4\beta D_l \\ -4\beta^3 B_l & -4\beta^2 C_l \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} -\frac{1}{\beta} \sum_{\forall a_i < z} F_i B_{l-a_i} \\ -\sum_{\forall a_i < z} F_i A_{l-a_i} \end{bmatrix}. \quad (29)$$

Як приклад, розпишемо для кожної ділянки бруса остаточні рівняння визначення згинальних моментів:

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

$$z \in [0 \ a_1): M_z = -4EI_x \beta^2 y_o C_z - 4EI_x \beta \phi_o D_z$$

$$z \in [a_1 \ a_2): M_z = -4EI_x \beta^2 y_o C_z - 4EI_x \beta \phi_o D_z -$$

$$-\frac{1}{\beta^3} Q_1 D_{z-a_1}$$

$$z \in [a_2 \ a_3): M_z = -4EI_x \beta^2 y_o C_z - 4EI_x \beta \phi_o D_z -$$

$$-\frac{1}{\beta^3} (Q_1 D_{z-a_1} - R_1 D_{z-a_2})$$

$$z \in [a_3 \ a_4): M_z = -4EI_x \beta^2 y_o C_z - 4EI_x \beta \phi_o D_z -$$

$$-\frac{1}{\beta^3} (Q_1 D_{z-a_1} - R_1 D_{z-a_2} + Q_2 D_{z-a_3})$$

$$z \in [a_4 \ l): M_z = -4EI_x \beta^2 y_o C_z - 4EI_x \beta \phi_o D_z -$$

$$-\frac{1}{\beta^3} (Q_1 D_{z-a_1} - R_1 D_{z-a_2} + Q_2 D_{z-a_3} - R_2 D_{z-a_4})$$

Розрахунки колії на міцність для визначення максимально ймовірних сил, що передаються від рейок на брус, в цій роботі виконані для найбільш розповсюджених типів рухомого складу відповідно до затверджені методики [2]:

- вантажний локомотив ВЛ8;
- пасажирський локомотив ЧС7;
- вантажний вагон з чотиривісними візками ЦНІІ–ХЗ–О.

Розрахунки показали, що на брус від підкладки під рухомим складом при вертикальному модулі пружності $U=46$ МПа передаються такі навантаження:

- ВЛ8 – $Q=55$ кН, при $V=80$ км/год;
- ЧС7 – $Q=58$ кН, при $V=140$ км/год;
- вантажний вагон з візками ЦНІІ–ХЗ–О – $Q=61$ кН при $V=90$ км/год.

Бачимо, що найбільш суттєво впливає вантажний вагон з візками ЦНІІ–ХЗ–О, отже, остаточно у подальших розрахунках приймаємо саме цей рухомий склад.

Під час теоретичних досліджень було виявлено, що величини найбільших згинальних моментів в межах стрілочного перевалу виникають під брусами довжиною 3,5 м. Результати розрахунку згинальних моментів для вказаної довжини бруса МКР і аналітичним методом наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунку згинальних моментів МКР та аналітичним методом

Table 4

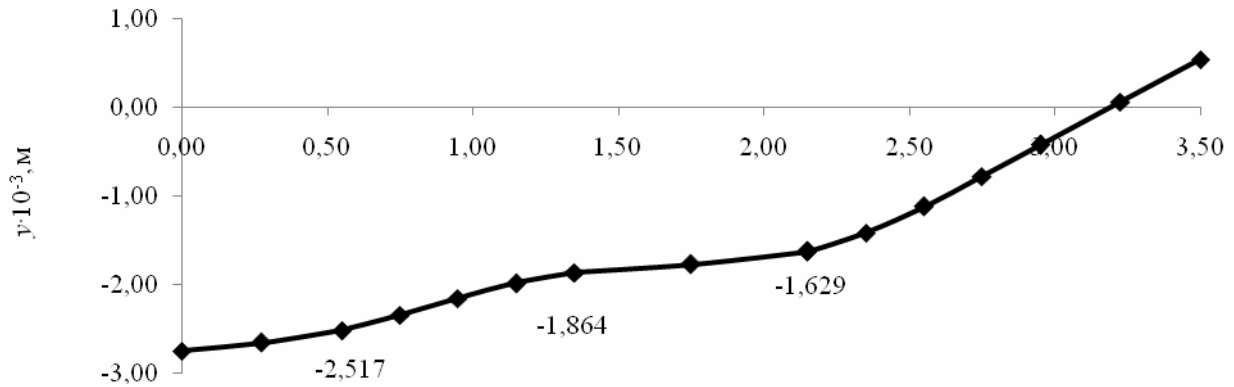
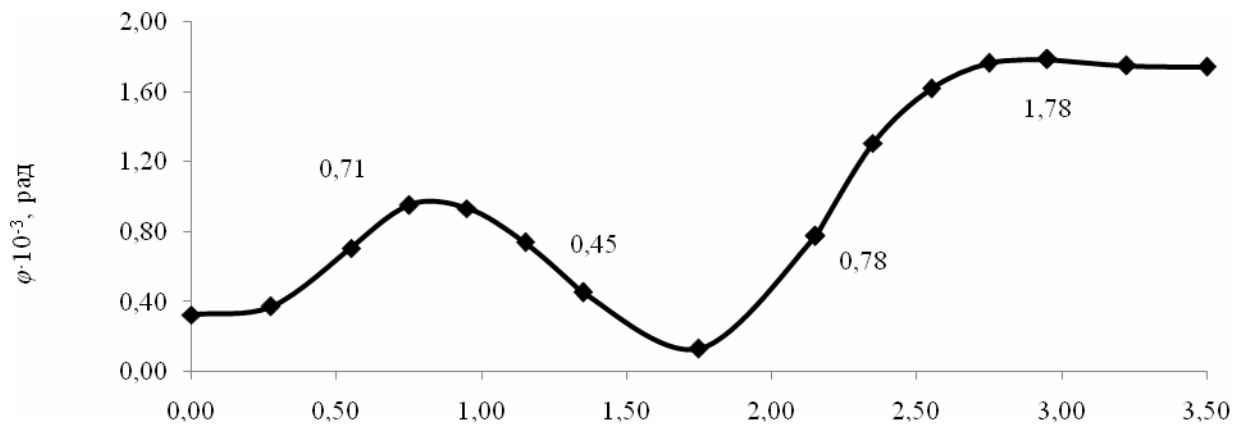
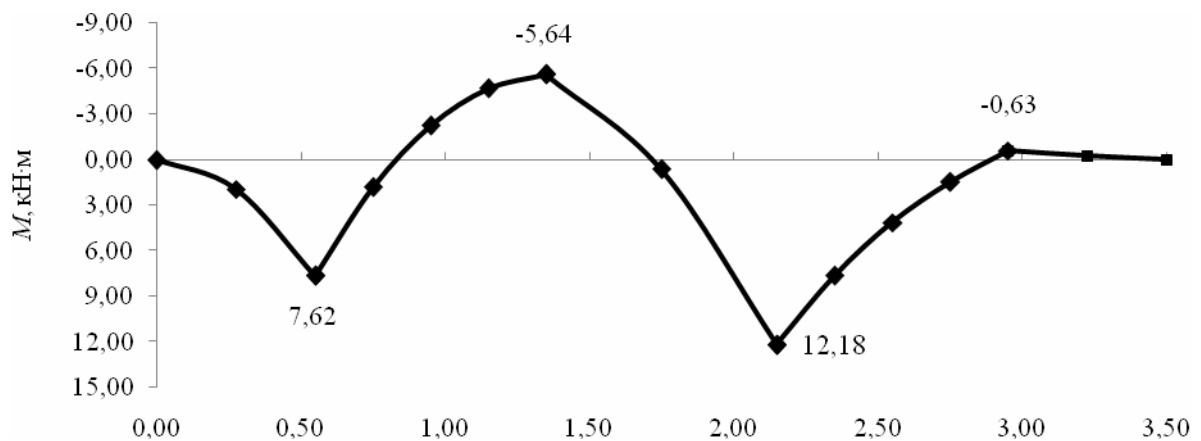
The calculation results of bending moments by finite difference and analytical methods

z	$M_{МКР}$, кН·м	$M_{АМ}$, кН·м	$ \Delta M $, %
0,00	0,00	0,00	-
0,28	1,87	1,93	2,96
0,55	7,38	7,62	3,10
0,55	7,38	7,62	3,10
0,75	1,74	1,80	3,44
0,95	-2,19	-2,25	2,84
1,15	-4,59	-4,69	2,22
1,35	-5,43	-5,64	3,76
1,35	-5,43	-5,64	3,76
1,75	0,60	0,62	2,68
2,15	11,87	12,18	2,55
2,15	11,87	12,18	2,55
2,35	7,36	7,62	3,36
2,55	3,95	4,11	3,99
2,75	1,40	1,45	3,51
2,95	-0,61	-0,63	2,79
2,95	-0,61	-0,63	2,79
3,23	-0,26	-0,27	3,88
3,50	0,00	0,00	-

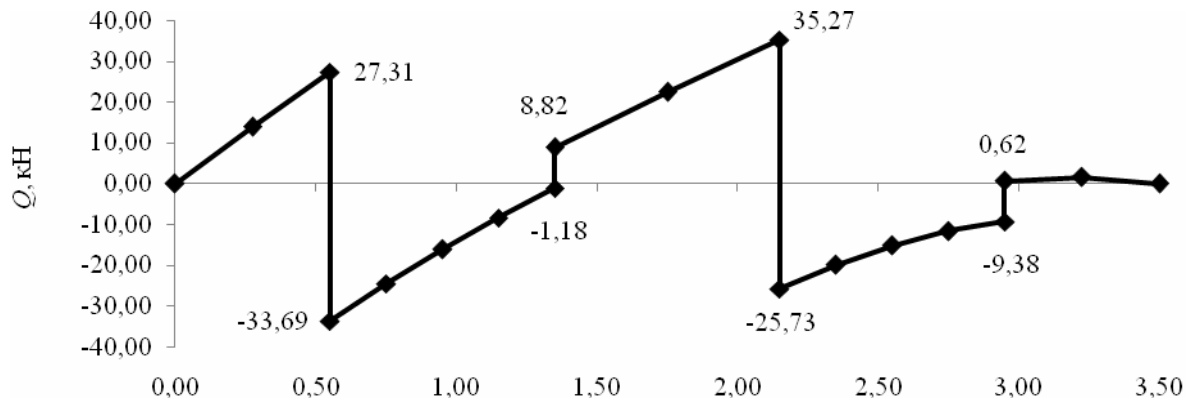
Бачимо, що різниця результатів двох методів складає не більше ніж 5 %, що знаходиться в межах похибки при інженерному розрахунку. Числова верифікація свідчить про адекватність виконаних розрахунків.

Для наочності отриманих результатів для аналітичного методу побудуємо епюри прогинів, кутів повороту, згинальних моментів та поперечних сил (рис. 6–9).

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Рис. 6. Епюра прогинів $y(z)$ Fig. 6. The diagram of deflections $y(z)$ Рис. 7. Епюра кутів повороту $\phi(z)$ Fig. 7. The diagram of rotation angles $\phi(z)$ Рис. 8. Епюра згинальних моментів $M(z)$ Fig. 8. The diagram of bending moments $M(z)$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Рис. 9. Епюра поперечних сил $Q(z)$ Fig. 9. The diagram of shear forces $Q(z)$

При $M_{\max} = 12,18 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $[\sigma] = 200 \text{ МПа}$ і $h = 0,18 \text{ м}$ товщина накладки згідно з формулою (3) дорівнює:

$$b_1 = \frac{3 \cdot 12,18}{200 \cdot 0,18^2} = 0,57 \text{ см} \approx 0,6 \text{ см}.$$

Згідно з [4] несуча здатність одного шва болтів

- згин болта $T_{\text{зг}}^0 = 1,8d^2 + 0,02a^2 \leq 2,5d^2$;
- зминання в середніх елементах конструкції $T_{\text{зм}}^{\text{сеп}} = 0,5cd$; $c = b = 25 \text{ см}$;
- зминання в крайніх елементах з'єднання $T_{\text{зм}}^{\text{кр}} = 0,8ad$, $a = b_1 = 0,6 \text{ см}$. Оскільки крайні елементи вузла сталеві, тому враховувати їх несучу здатність на зминання не потрібно.

$$T_{\text{зг}}^0 = 3,53 \text{ кН} \leq 4,90 \text{ кН};$$

$$T_{\text{зм}}^{\text{сеп}} = 17,5 \text{ кН}.$$

Розрахункова несуча здатність з врахуванням породи деревини і температурно-вологих умов:

- згин болта

$$T_{\text{зг}} = 3,53 \sqrt{1,1 \cdot 0,85} = 3,41 \text{ кН};$$

- зминання в середніх елементах

$$T_{\text{зм}}^{\text{сеп}} = 17,5 \cdot 1,1 \cdot 0,85 = 16,36 \text{ кН};$$

$$n_{\text{н}} = 1,868 \leq 2.$$

Приймаємо два болти діаметром 14 мм.

Для більшої жорсткості накладки центральний ряд болтів збільшимо на 1. Згідно з рис. 2 будемо мати:

$$l_{\text{нак}} = 6 \cdot S_1 = 42d = 588 \text{ мм}.$$

В ході теоретичних досліджень було проаналізовано вплив модуля пружності підрейкової основи на товщину накладки з'єднання, який показав, що зміна проходить за нелінійним законом (рис. 10). Збільшення модуля пружності в чотири рази призводить до зменшення величини товщини накладки всього на 1–1,5 мм. Тому пропонується остаточно прийняти $b_1 = 6 \text{ мм}$.

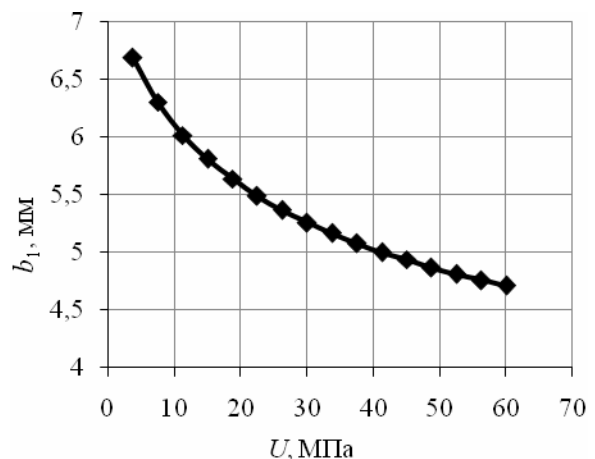


Рис. 10. Вплив модуля пружності підрейкової основи на товщину накладки

Fig. 10. Influence of elastic modulus of the rail foundation on the pad thickness

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Отже, спираючись на результати теоретичних досліджень в цій статті, доцільно переглянути додаток 5 [7], і внести зміни щодо розмірів накладки для поєднання двох шпал у брус.

Результати

Порівняння розрахованих за допомогою аналітичного методу і МКР значень показує незначну абсолютну похибку, що знаходиться в межах похибки інженерних розрахунків. Числова верифікація двох методів підтверджує правильність отриманих результатів. Отже, з конструктивних міркувань на допуски у виготовленні, нагельне з'єднання буде мати вигляд, зображений на рис. 11.

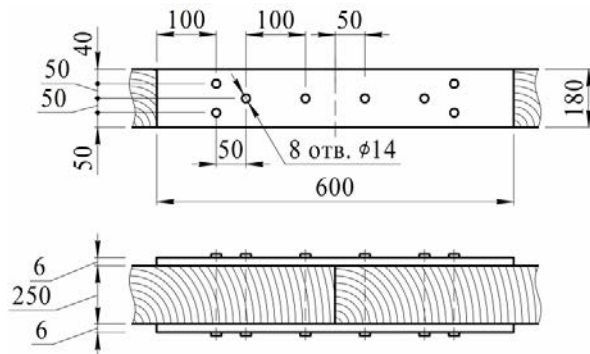


Рис. 11. Остаточні геометричні розміри нагельного з'єднання

Fig. 11. The final geometrical sizes of nog connection

Таким чином, можна вважати, що запропонована конструкція нагельного з'єднання двох шпал у брус відповідає умовам міцності для максимального експлуатаційного навантаження.

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано конструкцію з'єднання двох нових або відремонтованих шпал у єдиний жорсткий брус.

Теоретичні результати дослідження засвідчили, що цю конструкцію за умовами міцності можна використовувати незалежно від модуля пружності. За рахунок впровадження та використання таких елементів можна досягти значних фінансових і матеріальних заощаджень.

Висновки

Розглянуто методику поєднання двох дерев'яних елементів за допомогою нагельного з'єднання.

1. Досліджено декілька варіантів розрахунку величин поперечних зусиль та переміщень.

2. Виконано якісну і кількісну верифікацію. Результати засвідчили адекватність розрахунків МКР та аналітичним методом.

3. Запропоновано остаточні геометричні розміри накладки для з'єднання.

4. Надано пропозиції щодо внесення змін та доповнень до додатку 5 Інструкції з улаштування та утримання колії залізниць України [7].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горский, А. И. Определение допускаемых напряжений при расчете на прочность / А. И. Горский, Е. Б. Иванов-Эмин, А. И. Каренковский. – Москва : НИИмаш, 1974. – 95 с.
2. Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП – 0117 / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – Київ : Транспорт України, 2005. – 119 с.
3. Данович, В. Д. Анализ работы подшпального основания под действием динамической загрузки / В. Д. Данович, В. Я. Закапко, А. М. Патласов // Транспорт : зб. наук. пр. // Дніпропетр. ін-т інженерів трансп. – Дніпропетровськ, 1999. – Вип. 4. – С. 23–30.
4. ДБН В.2.6–161:2010. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. – На заміну СНиП II–25–80 : затв. наказом Мінрегіонбуду України від 15.11.2010 р. № 448 та надано чинності 30.12.2010 р. № 571 з 2011–09–01. — Київ, 2011. – 284 с.
5. Железобетонные шпалы для рельсового пути / А. Ф. Золотарский, Б. А. Евдокимов, Н. М. Исаев [и др.]. – Москва : Транспорт, 1980. – 270 с.
6. Идимешев, С. В. Расчет напряженно-деформированного состояния изотропных прямоугольных пластин на упругом основании / С. В. Идимешев // Изв. Алтайск. гос. ун-та. – 2014. – Вып. № 1 (81), т. 1. – С. 53–56.
7. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України : ЦП-0269 / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган [та ін.]. – Київ : Поліграфсервіс, 2012. – 465 с.
8. Курган, Д. М. До вирішення задач розрахунку колії на міцність із урахуванням нерівнопружності підрейкової основи / Д. М. Курган // Наука та прогрес трансп. Вісн.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- Дніпропетр. нац. ун-ту. залізн. трансп. – 2015. – № 1 (55). – С. 90–99. doi: 10.15802/stp-2015/38250.
9. Лебедев, А. В. Численные методы расчета строительных конструкций : учеб. пособие / А. В. Лебедев. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2012. – 55 с.
 10. Марценюк, Л. В. Послідовність та етапність проведення реформ на залізничному транспорті / Л. В. Марценюк // Проблеми економіки трансп : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 1. – С. 88–95.
 11. Рудаков, О. Г. Державна програма реформування залізничного транспорту на 2009–2015 роки: проблеми та шляхи вирішення / О. Г. Рудаков // Укр. соціум. – 2010. – Вип. 2. – С. 133–143.
 12. Сикаченко, В. М. К вопросу о классификации расчетных моделей грунтовых оснований / В. М. Сикаченко // Дороги и мосты : сборник / ФГУП РОСДОРНИИ. – Москва, 2008. – Вып. 19/1. – С. 70–85.
 13. Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов / А. Е. Саргсян, А. Т. Демченко, Н. В. Дворянчиков, Г. А. Джинчвелашвили. – Москва : Высш. шк., 2000. – 416 с.
 14. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс] : схвалено розпорядж. Каб. Міністрів України від 20 жовт. 2010 р. № 2174-р. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80>. – Назва з екрана. – Перевірено : 4.11.2015.
 15. Al-Azzawi, A. A. Large Deflection of Deep Beams on Elastic Foundations / A. A. Al-Azzawi, D. M. Theeban. – J. of the Serbian Society for Computational Mechanics. – 2010. – Vol. 4, № 1. – P. 88–101.
 16. Dinev, D. Analytical solution of beam on elastic foundation by singularity functions / D. Dinev // Engineering Mechanics. – 2012. – Vol. 19, № 6. – P. 381–392.
 17. Reliability analysis of beams on random elastic foundations / D. V. Griffiths, J. Paiboon, J. Huang, G. A. Fenton // Geotechnique. – 2013. – Vol. 63. – Iss. 2. – P. 180–188. doi: 10.1680/geot.11.P.127.
 18. Teodoru, I. B. A Finite Element Study of the Bending Behavior of Beams Resting on Two-Parameter Elastic Foundation / I. B. Teodoru, V. Musat, M. Vrabie // Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Tomul LII (LVI), Fasc. 3–4. – 2006. – P. 7–20.

А. М. ПАТЛАСОВ¹, С. А. ТОКАРЕВ^{2*}

¹Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, эл. почта am_patlasov@ukr.net ORCID 0000-0003-2081-5648

^{2*}Каф. «Путь и путевое хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 373 15 42, эл. почта tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123

РАСЧЁТ ЭЛЕМЕНТОВ СОЕДИНЕНИЯ СБОРНОГО ДЕРЕВЯННОГО БРУСА ДЛЯ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ

Цель. Дефицит материалов для элементов верхнего строения пути (ВСП) приводит к необходимости пересмотра норм повторного использования старогородных объектов после их замены или ремонта. В качестве примера можно привести следующий факт: после износа в подрельсовой зоне деревянных шпал и брусьев или других дефектов, которые запрещают их дальнейшую эксплуатацию, остро стоит вопрос их плановой замены. Обычно необходимый минимальный запас шпал всегда находится в распоряжении обслуживающих путь бригад. Что касается деревянных брусьев, длина которых на стрелочном переводе достигает 5 м, – не всегда в короткий срок существует возможность оперативно их заменить ввиду отсутствия данного типоразмера. Поэтому в работе предложены и обоснованы геометрические размеры элементов соединения двух полубрусьев или шпал в единую жесткую конструкцию, которая по своим характеристикам не отличается от сплошного бруса. **Методика.** Авторы рассматривали алгоритм расчета соединения деревянных элементов и математические модели, описывающие упругие свойства основания. Определена наиболее адекватная методика, которая в полной мере характеризует процессы взаимодействия бруса в виде балки конечной длины на балласте. **Результаты.** Качественная и количественная верификация результатов показала очень хорошее совпадение полученных значений изгибающих моментов, поперечных сил и прогибов методом конечных разностей (МКР) и аналитическим методом. Это дает основания утверждать, что полученные геометриче-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

ские размеры нагельного соединения можно рекомендовать работникам путевого хозяйства для соединения деревянных шпал в брус на стрелочных переводах и даже съездах. **Научная новизна.** Обоснованы геометрические размеры нагельного соединения двух деревянных шпал в брус для применения на стрелочных переводах. **Практическая значимость.** Предложенная конструкция соединения дает возможность повторного применения старогодных отремонтированных деревянных шпал и брусев. Данную конструкцию можно применять не только для соединения обычных деревянных шпал в брус нужной длины, но и для создания из полушпал единой конструкции для малонагруженных участков станционных и подъездных путей.

Ключевые слова: шпала; брус; упругое основание; нагельное соединение; метод конечных разностей

O. M. PATLASOV¹, S. O. TOKARIEV^{2*}

¹Dep. «Railway Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail am_patlasov@ukr.net, ORCID 0000-0003-2081-5648

^{2*}Dep. «Railway Track and Track Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123

THE COUPLING ELEMENT CALCULATION OF COMBINED WOODEN BAR FOR TURNOUTS

Purpose. The deficit of permanent way (PW) material elements leads to a revision of the re-use of old serviceable object after their replacement or repair. As an example is the following fact, that after the wear in the under-rail area of wooden sleepers and beams, or other defects that prevent their further exploitation, there is an acute issue of their planned replacement. Usually, the required minimum margin of sleepers is always in the track service brigades. As for the wooden beams the length of which in the turnouts is up to 5 m, there is not always possible quickly replace them due to the lack of size in the short term. Therefore, the geometric dimensions of the connect elements of the two halves of the beams or sleepers in a single rigid structure were proposed and justified and its characteristics do not differ from solid beam. **Methodology.** The authors considered the calculation algorithm of wooden elements connection and mathematical models that describe the elastic properties of base. The most adequate technique that fully characterizes the interactions beam in the form of a beam of finite length on the ballast was determined. **Findings.** The qualitative and quantitative verification of the results showed a very good agreement between the values of bending moments, shear forces and deflections that were obtained by the finite difference method (FDM) and the analytical method. It gives the reason to believe that the received geometric dimensions of nag connection can be recommended to employees of track facilities to connect the wooden sleepers on the switches and crossovers. **Originality.** The nag connection geometrical sizes of two wooden sleepers in the beam for using on switches were substantiated. **Practical value.** The proposed joint design allows re-using of renovated old wooden sleepers and bars. This design can be applied not only for the connection of conventional wooden sleepers in the beam of desired length, but also to create the halves of a single sleeper designs for lightly loaded sections of the station and access routes.

Keywords: sleeper; beam; elastic foundation; nag connection; finite difference method

REFERENCES

1. Gorskiy A.I., Ivanov-Emin Ye.B., Karenovskiy A.I. *Opredeleeniye dopuskayemykh napryazheniy pri raschete na prochnost* [Definition of allowable stress when calculating the strength]. Moscow, NIImash Publ., 1974. 95 p.
2. Danilenko E.I., Rybkin V.V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist: TsP–0117* [Rules of calculations of the railway track strength and stability: TsP–0117]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2005. 119 p.
3. Danovich V.D., Zakapko V.Ya., Patlasov A.M. Analiz raboty podshpalnogo osnovaniya pod deystviyem dinamicheskoy zagruzki [Analysis of under sleeper base under the dynamic loading]. *Transport: Zbirnyk naukovykh prats DIITu* [Transport: Proc. of Dnipropetrovsk Institution of Transport Engineers], 1999, vol. 4, pp. 23-30.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

4. DBN V.2.6–161:2010. *Konstruktzii budynkiv i sporud. Dereviani konstruktzii. Osnovni polozhennia* [State building standart V. 2.6-161:2010. Design of buildings and structures. A wooden structure. The main provisions]. Kyiv, 2011. 284 p.
5. Zolotar'skiy A.F., Yevdokimov B.A., Isayev N.M. *Zhelezobetonnye shpaly dlya relsovogo puti* [Concrete sleepers for rail track]. Moscow, Transport Publ., 1980. 270 p.
6. Idimeshev S.V. Raschet napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya izotropnykh pryamougolnykh plastin na uprugom osnovanii [The calculation of stress-strain state of isotropic rectangular plates on elastic foundation]. *Izvestiya altayskogo gosudarstvennogo universiteta* [News of Altai State University]. Barnaul, 2014, no.1 (81), vol. 1, pp. 53-56.
7. Danilenko E.I., Orlovskiy A.M., Kurhan M.B., Yakovliev V.O. *Instruktsiia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts Ukrainy: TsP-0269* [Instruction for installation and maintenance of the tracks of the Railways of Ukraine of the TsP-0269]. Kyiv, Polihrafservis Publ., 2012. 465 p.
8. Kurhan, D.M. Do vyreshennia zadach rozrakhunku kolii na mitsnist iz urakhuvanniam nerivnoprzhnosti pidreikovoii osnovy [To the solution of problems about the railways calculation for strength taking into account unequal elasticity of the subrail base]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 1 (55), pp. 90-99. doi: 10.15802/stp2015/38250.
9. Lebedev A.V. *Chislennyye metody rascheta stroitelnykh konstruktсий* [Numerical methods of calculation of building structures]. Saint-Petersburg, SPbGASU Publ., 2012. 55 p.
10. Martseniuk L.V. Poslidovnist ta etapnist provedennia reform na zaliznychnomu transporti [The sequence and phasing of reforms in railway transport]. *Problemy ekonomiky transportu: zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [The problems of transport economy: Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, vol. 1, pp. 88-95.
11. Rudakov O.H. Derzhavna prohrama reformuvannia zaliznychnoho transportu na 2009–2015 roky: problemy ta shliakhy vyreshennia [The state program of reforming railway transport for the period 2009-2015: problems and solutions]. *Ukrainskyi sotsium – Ukrainian Society*, 2010, vol. 2, pp. 133-143.
12. Sikachenko V.M. K voprosu o klassifikatsii raschetnykh modeley gruntovykh osnovaniy [To the question of classification of computational models of soil bases]. *Dorogi i mosty* [Ways and bridges]. Moscow, 2008, vol. 19/1, pp. 70-85.
13. Sargsyan A.Ye., Demchenko A.T., Dvoryanchikov N.V., Dzhinchvelashvili G.A. *Stroitel'naya mekhanika. Osnovy teorii s primerami raschetov* [Building mechanics. Basic theory with examples of calculations]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2000. 416 p.
14. *Transportna stratehiia Ukrainy na period do 2020 roku* [The transport strategy of Ukraine for the period till 2020]. Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80> (Accessed 4 November 2015).
15. Al-Azzawi A.A., Theeban D.M. Large Deflection of Deep Beams on Elastic Foundations. *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics*, 2010, vol. 4, no. 1, pp. 88-101
16. Dinev D. Analytical solution of beam on elastic foundation by singularity functions. *Engineering Mechanics*, 2012, vol. 19, no. 6, pp. 381-392.
17. Griffiths D.V., Paiboon J., Huang J., Fenton G.A. Reliability analysis of beams on random elastic foundations. *Geotechnique*, 2013, vol. 63, issue 2, pp. 180-188. doi: 10.1680/geot.11.P.127.
18. Teodoru I.B., Musat V., Vrabie M. A Finite Element Study of the Bending Behavior of Beams Resting on Two-Parameter Elastic Foundation. *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Tomul LII (LVI), Fasc. 3–4*, 2006, pp. 7-20.

Стаття рекомендована до публікації, д.т.н., проф. Л. І. Петренком (Україна); Ц. інж. служби колії Придніпровської залізниці С. В. Іванчаком (Україна)

Надійшла до редколегії 24.09.2015

Прийнята до друку 12.11.2015

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

УДК 621.01: 621.87

В. С. ЛОВЕЙКІН^{1*}, Ю. О. РОМАСЕВИЧ^{2*}

^{1*}Каф. «Конструювання машин і обладнання», Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв оборони, 12в, Київ, Україна, 03041, тел. +38 (097) 349 14 53, ел. пошта lovvs@ukr.net, ORCID 0000-0003-4259-3900

^{2*}Каф. «Конструювання машин і обладнання», Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв оборони, 12в, Київ, Україна, 03041, тел. +38 (097) 349 14 53, ел. пошта d.um@mail.ru, ORCID 0000-0001-5069-5929

ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ РОБОТИ МЕХАНІЗМІВ У ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ

Мета. Для зниження динамічних навантажень у механізмах необхідно певним чином виконувати вибір режимів їх руху. Такий вибір повинен здійснюватись на оптимізаційній основі. Метою роботи є дослідження методів синтезу режимів руху механізмів та машин, які забезпечують оптимальні режими руху за термінальними та інтегральними критеріями. **Методика.** Для проведення досліджень використано одномасову динамічну модель механізму. У якості оптимізаційних критеріїв використано термінальний та комплексний інтегральний критерії. Поставлена оптимізаційна задача розв'язана за допомогою динамічного програмування та варіаційного числення. Також було використано прямий варіаційний метод, який дозволив знайти лише наближений розв'язок вихідної задачі оптимального керування. **Результати.** Для кожного з методів розв'язання задачі встановлено способи забезпечення абсолютного мінімуму термінального критерію. Отримані в результаті рішень характеристики показують плавність зміни кінематичних функцій при гальмуванні механізму та вказують на досягнення абсолютного мінімуму прийнятого у розрахунках термінального критерію. **Наукова новизна.** При розв'язуванні задачі оптимального керування методом динамічного програмування для досягнення абсолютного мінімуму термінального критерію у рівняння динаміки руху системи необхідно вводити нові змінні. В загальному випадку для досягнення мінімуму термінального критерію n -го порядку розв'язок оптимізаційної задачі необхідно шукати відносно функції $(n+1)$ -го порядку. При розв'язанні оптимізаційних задач методом варіаційного числення для того, щоб забезпечити мінімум термінального критерію n -го порядку, шляхом вибору відповідних крайових умов, необхідно розв'язати рівняння Ейлера-Пуассона $2(n+1)$ -го порядку (за умови симетричного задання крайових умов). Дане рівняння, в свою чергу, є необхідною умовою екстремуму функціоналу з підінтегральним виразом $(n+1)$ -го порядку. **Практична значимість.** Мінімізація прийнятого у розрахунках термінального критерію дає змогу усунути удари у кінематичних зачепленнях механізмів, що, у свою чергу, підвищує їх довговічність. Крім того, зниження інтенсивності наростання прискорення ведучої маси системи (наприклад, ротора електродвигуна) дає змогу знизити небажані енерговтрати приводу.

Ключові слова: оптимальне керування; термінальний критерій; динамічне програмування; варіаційне числення; крайова задача

Вступ

Постановка проблеми. Сучасні механізми і машини характеризуються значною інтенсивністю експлуатації, що пов'язано з прагненням підвищити продуктивність їх роботи. Водночас до механізмів висувають жорсткі вимоги стосовно надійності, зручності експлуатації та енергоефективності. Вказана сукупність вимог суперечить умові високої продуктивності. Ця суперечність вирішується на основі вибору режимів руху механізмів та машин, який тією чи іншою мірою дозволяє задовольнити основні вимоги до роботи механізмів.

Необхідно відмітити, що значний вплив на ефективність роботи машини або механізму мають перехідні режими. Саме під час перехідних режимів руху механізмів у їх елементах виникають значні динамічні навантаження, які знижують довговічність механізмів. Для зниження динамічних навантажень у механізмах необхідно певним чином вибирати режими їх руху. Вибір режимів руху необхідно виконувати на оптимізаційній основі. Це означає, що перехідні режими руху мають бути оптимальними, тобто задовольняти обраний на основі рекомендацій та аналізу роботи механізму один або декілька критеріїв оптимізації. Зазначимо, що такими критеріями є інтегральні та термінальні функціонали. Основні вимоги, які висуваються до роботи механізмів, у математичному вигляді виражаються через оптимізаційні критерії.

У цьому дослідженні розв'язано задачу синтезу режимів руху механізму із наперед заданою вимогою: на початку руху прискорення механізму повинно бути нульовим. Це дає змогу знизити рівень динамічних навантажень за рахунок зниження швидкості вибору зазорів та практично усунути небажані коливні процеси у механізмах.

Аналіз досліджень та публікацій. Залежність між режимами руху машин та динамічними навантаженнями в них досліджена у багатьох працях [6, 11, 13, 15, 16]. У роботах [2, 3, 5] встановлено вплив наявності зазору у передачах на формування коливних процесів у пружних елементах механізмів, зокрема на амплітуді зусиль і моментів. Для зниження небажаних динамічних навантажень необхідно виконувати плавний вибір зазорів у кінематичних

зачепленнях механізмів [3, 4], який виконаний на оптимізаційній основі. Крім того, такий підхід дає змогу підвищити енергетичні показники роботи машин [1, 9].

Мета

Метою роботи є дослідження методів синтезу режимів руху механізмів та машин, які забезпечують оптимальний режим їх руху за термінальними та інтегральними критеріями.

Методика

Динаміка значної кількості технічних систем, наприклад, підйомно-транспортних машин, може бути описана у першому наближенні за допомогою диференціального рівняння:

$$m\ddot{x} = F - W, \quad (1)$$

де m – зведена до поступального руху маса системи; x – узагальнена координата системи; F – зведене рушійне зусилля приводу; W – зведена сила статичного опору руху системи. Крапка над символом означає диференціювання за часом.

Для зменшення динамічних навантажень у початковий момент руху системи необхідно забезпечити мінімум термінального критерію:

$$Ter = (\ddot{x}(0))^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Крім того, будемо вимагати, щоб режим руху системи забезпечував мінімум інтегрального функціоналу:

$$I = \int_0^T (\delta_1 \dot{x}^2 + \delta_2 \ddot{x}^2 + \delta_3 \dddot{x}^2 + \delta_4 \ddot{\ddot{x}}^2) dt \rightarrow \min, \quad (3)$$

де T – тривалість перехідного процесу; δ_i – коефіцієнти, які враховують вагу відповідних доданків ($i=1, 2, 3, 4$) і сума яких рівна одиниці. Перший та другий доданки у підінтегральному виразі (3) встановлюють «ціну» переходу динамічної системи з початкового у кінцеве положення. Тобто «штрафуються» ті положення динамічної системи у фазовому просторі, які характеризуються значною віддаленістю від початку координат. Третій доданок у підінтегральному виразі (3) визначає «ціну» керування динамічною системою. Для електроприводу мінімізація цієї складової знижує електромагнітні

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

тний момент і, як наслідок, змінні електричні втрати у приводі [12], що підвищує енергоефективність роботи системи. Четвертий доданок у підінтегральному виразі (3) не допускає її перевантажень, які можуть виникнути при спробах швидкої зміни рушійного зусилля приводу за рахунок подачі на електродвигун значної напруги живлення. Оптимальний закон руху динамічної системи будемо шукати на траєкторіях, які задовольняють крайовим умовам:

$$\begin{cases} x(0) = s_0, \dot{x}(0) = v_0; \\ x(T) = \dot{x}(T) = 0, \end{cases} \quad (4)$$

де s_0 та v_0 – початкове положення та швидкість руху системи відповідно. Числові значення параметрів s_0 та v_0 визначають вид перехідного режиму (пуск або гальмування).

Для розв’язання задачі (1)–(4) використаємо динамічне програмування [10]. Функціональне рівняння Беллмана для критерію (3) має такий вигляд:

$$\min[\delta_1 x_1^2 + \delta_2 x_2^2 + \delta_3 u^2 + \delta_4 \phi^2 + \frac{\partial S}{\partial x_1} x_2 + \frac{\partial S}{\partial x_2} u + \frac{\partial S}{\partial u} \phi] = 0, \quad (5)$$

де S – функція Беллмана. У виразі (5) і в подальшому викладі матеріалу використані позначення: $x = x_1$, $\dot{x}_1 = x_2$, $\dot{x}_2 = u$, $u = \frac{F - W}{m}$, $\dot{u} = \phi$.

Мінімум правої частини рівняння (5) будемо шукати за параметром ϕ , для цього продиференціюємо її за ϕ та прирівняємо отримане до нуля. У результаті розв’язування знайденого рівняння будемо мати:

$$\phi = -\frac{1}{2\delta_4} \frac{\partial S}{\partial u}. \quad (6)$$

Підставимо знайдений вираз (6) у рівняння (5) та отримаємо нелінійне диференціальне рівняння першого порядку у частинних похідних:

$$\delta_1 x_1^2 + \delta_2 (\delta_2 x_2 + \frac{\partial S}{\partial x_1}) + u (\delta_3 u + \frac{\partial S}{\partial x_2}) - \frac{1}{4\delta_4} (\frac{\partial S}{\partial u})^2 = 0. \quad (7)$$

Розв’язок нелінійного диференціального рівняння у частинних похідних (7) будемо шукати у вигляді квадратичної форми:

$$S = A_1 x_1^2 + A_2 x_2^2 + A_3 u^2 + A_4 x_1 x_2 + A_5 x_1 u + A_6 x_2 u. \quad (8)$$

Візьмемо частинні похідні з виразу (8) за параметрами x_1 , x_2 та u :

$$\frac{\partial S}{\partial x_1} = A_5 u + 2A_1 x_1 + A_4 x_2, \quad (9)$$

$$\frac{\partial S}{\partial x_2} = A_6 u + A_4 x_1 + 2A_2 x_2, \quad (10)$$

$$\frac{\partial S}{\partial u} = 2A_3 u + A_5 x_1 + A_6 x_2. \quad (11)$$

Підставляючи вирази у формулу (7) та виконуючи спрощення отриманого, будемо мати систему рівнянь, з якої необхідно знайти невідомі коефіцієнти A_3 , A_5 та A_6 . Вибір цих коефіцієнтів зумовлений тим, що шукана функція ϕ , згідно з виразами (6) та (11), залежить саме від них. Запишемо систему рівнянь, яку необхідно розв’язати:

$$\begin{cases} A_6 + \delta_3 - \delta_4^{-1} A_3^2 = 0; \\ \delta_1 - 0,25\delta_4^{-1} A_5^2 = 0; \\ A_3 A_5 \delta_4^{-1} + \delta_2 - 0,25\delta_4^{-1} A_6^2 = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Знайшовши невідомі коефіцієнти та відкинувши ті з них, які супроводжуються втратою стійкості руху динамічної системи, можемо вважати, що задача розв’язана, оскільки знайдена функція $\phi = \phi(u, x_2, x_1)$, яка мінімізує критерій (3).

Однак, для практичної реалізації отриманих результатів необхідно знайти функцію u , яка пропорційна рушійному зусиллю F . Для цього запишемо рівняння (6) із врахуванням (11) у такому вигляді:

$$\dot{u} + \frac{2A_3 u + A_5 x_1 + A_6 x_2}{2\delta_4} = 0. \quad (13)$$

Проінтегруємо вираз (13) та отримаємо:

$$u = -\frac{A_5}{2\delta_4} \int x_1 dt - \frac{A_6}{2\delta_4} x_1 - \frac{A_3}{\delta_4} x_2 + C_1, \quad (14)$$

де C_1 – постійна інтегрування. Для знаходження C_1 використаємо початкову умову $u(0) = u_0$.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Таким чином, отримаємо:

$$C_1 = u_0 + \frac{2A_3v_0 + A_6x_0}{2\delta_4}. \quad (15)$$

Переходячи до прийнятих на початку дослідження позначень змінних, можемо записати вираз (15) у такому вигляді:

$$F = \left(-\frac{A_3}{2\delta_4} \int x dt + u_0 + \frac{A_3}{\delta_4} (v_0 - \dot{x}) + \frac{A_6}{2\delta_4} (x_0 - x)\right)m + W. \quad (16)$$

Зазначимо, що критерій Ter (2) набуває абсолютного мінімуму, який рівний нулю, за умови $\ddot{x}(0) = 0$. Виходячи з рівняння (16), ця умова виконується при $u_0 = 0$. Таким чином, задача мінімізації термінального (2) та інтегрального (3) критеріїв розв'язана.

Задачі (1)–(3) можна розв'язати також за допомогою прямого варіаційного методу [7]. Для цього відшукаємо розв'язок триточкової крайової задачі:

$$\begin{cases} x = 0; \\ x(0) = x_0; \dot{x}(0) = v_0; \ddot{x}(0) = 0; \\ x\left(\frac{T}{2}\right) = q_1; \dot{x}\left(\frac{T}{2}\right) = q_2; \ddot{x}\left(\frac{T}{2}\right) = q_3; \\ x(T) = 0; \dot{x}(T) = 0; \ddot{x}(T) = 0, \end{cases} \quad (17)$$

де q_1, q_2, q_3 – параметри, які необхідно визначити. Зазначимо, що задаючи крайові умови (17), ми апіорі вимагаємо нульове початкове та кінцеве прискорення, тобто забезпечуємо абсолютні мінімуми термінальним критерієм (2) та $(\ddot{x}(T))^2$. Надалі сформуємо підінтегральний вираз функціоналу (3) та визначимо інтеграл (3). Відмітимо, що визначений інтеграл (3) є функцією невідомих параметрів q_1, q_2 та q_3 , підбором яких можна досягнути мінімізації критерію (3). Для цього необхідно розв'язати систему рівнянь:

$$\partial I / \partial q_i = 0, \quad i = 1, 2, 3 \quad (18)$$

відносно невідомих параметрів q_1, q_2 та q_3 . Підстановка знайдених параметрів у розв'язок

крайової задачі (17) дає змогу отримати наближений розв'язок вихідної задачі (1)–(3).

Задачу (1)–(3) розв'яжемо також за допомогою варіаційного числення. Для цього запишемо необхідну умову мінімуму інтегрального критерію – рівняння Ейлера-Пуассона:

$$x^{VI} - \frac{\delta_3}{\delta_4} x^{IV} + \frac{\delta_2}{\delta_4} \ddot{x} - \frac{\delta_1}{\delta_4} x = 0. \quad (19)$$

Для розв'язання рівняння (19) необхідно знайти корені характеристичного рівняння, яке є алгебраїчним рівнянням шостого степеня. Знайти корені рівняння вище четвертого степеня у радикалах неможливо [14]. Для того щоб забезпечити мінімізацію термінального критерію (2), модифікуємо інтегральний критерій: покладемо $\delta_1 = \delta_2 = 0$. У цьому випадку диференціальне рівняння (19) буде мати такий розв'язок:

$$x = \left(e^{\sqrt[4]{\frac{\delta_3}{\delta_4}} t} C_1 + e^{\sqrt[4]{\frac{\delta_3}{\delta_4}} t} C_2 \right) \left(\frac{\delta_4}{\delta_3} \right)^2 + C_3 + C_4 t + C_5 t^2 + C_6 t^3, \quad (20)$$

де $C_1, \dots, C_6$ – постійні інтегрування, які визначаються виходячи з крайових умов руху динамічної системи. Задаючи одну з крайових умов $\ddot{x}(0) = 0$, отримаємо абсолютний мінімум термінального критерію (2). Якщо за умовами задачі не вимагається мінімізація складових високого порядку, які б дозволили забезпечити мінімізацію відповідного термінального функціоналу, то необхідно шукати інші підходи для вирішення цієї проблеми. Один з них полягає у визначенні таких значень вагових коефіцієнтів у структурі інтегрального критерію, при яких забезпечуються абсолютні мінімуми термінальних критеріїв [8].

Результати

Результати, які отримані при розв'язанні задачі (1)–(3) методом динамічного програмування, проілюструємо за допомогою графіків (рис. 1). Аналогічні графіки наведемо для результатів розв'язання задачі за допомогою прямого варіаційного методу (рис. 2) та варіаційного числення (рис. 3).

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

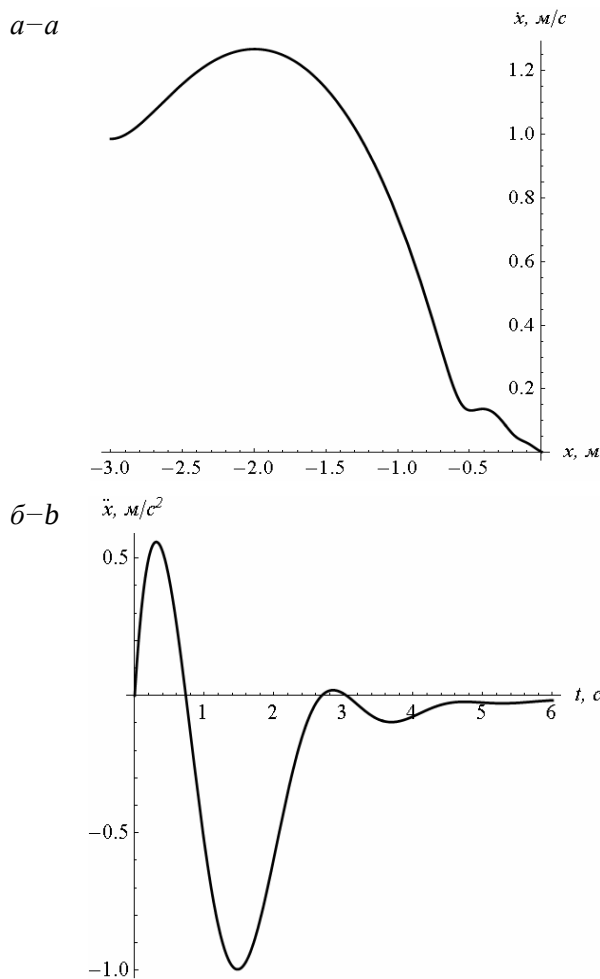


Рис. 1. Графіки динаміки руху системи
при розв'язанні задачі методом
динамічного програмування:
a – фазовий портрет; *b* – прискорення

Fig. 1. Graphs of system motion in solving
the problem using dynamic programming:
a – phase portrait; *b* – acceleration

Всі отримані характеристики (див. рис. 1–3)
вказують на плавність зміни кінематичних
функцій при гальмуванні механізму та досяг-
нення абсолютного мінімуму термінального
критерію (2).

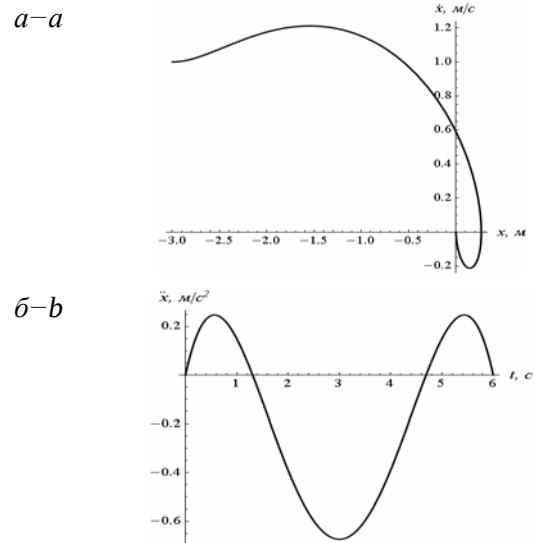


Рис. 2. Графіки динаміки руху системи
при розв'язанні задачі
прямим варіаційним методом:
a – фазовий портрет; *b* – прискорення

Fig. 2. Graphs of system motion while solving
the problem using the direct
variational method:
a – phase portrait; *b* – acceleration

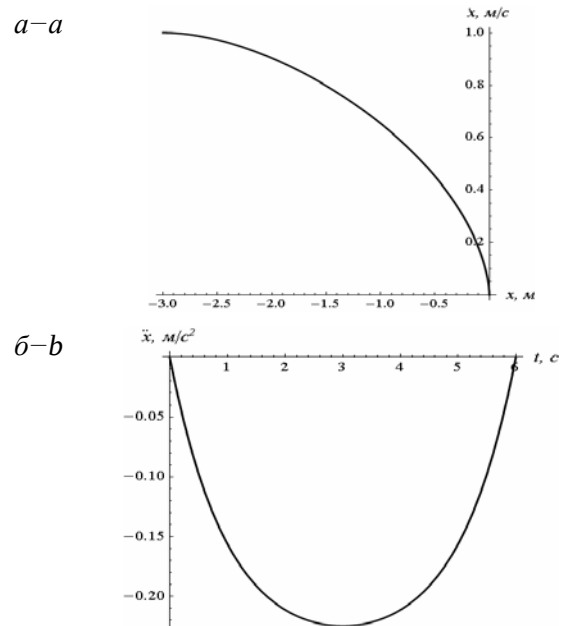


Рис. 3. Графіки динаміки руху системи
при розв'язанні задачі за допомогою
варіаційного числення:
a – фазовий портрет; *b* – прискорення

Fig. 3. Graphs of system motion when solving
problems using variational calculation:
a – phase portrait; *b* – acceleration

Наукова новизна та практична значимість

При розв'язанні задачі (1)–(3) методом динамічного програмування для досягнення абсолютного мінімуму термінального критерію (2) у рівняння динаміки руху системи була введена нова змінна – швидкість зміни прискорення (ривок) $\ddot{\varphi}$ і розв'язок задачі знайдено відносно цієї функції. Узагальнюючи, можна встановити правило: для досягнення мінімуму термінального критерію n -го порядку $Ter_n = f(T, x, \dot{x}, \dots, \overset{i}{x}, \dots, \overset{n}{x})$ необхідно розв'язок оптимізаційної задачі шукати відносно функції $\overset{n+1}{x}$.

При розв'язанні оптимізаційних задач методом варіаційного числення для того, щоб забезпечити мінімум термінального критерію n -го порядку, шляхом вибору відповідних крайових умов, необхідно розв'язати рівняння Ейлера-Пуассона $2(n+1)$ -го порядку (за умови симетричного задання крайових умов), яке, у свою чергу, є необхідною умовою екстремуму функціоналу з підінтегральним виразом $(n+1)$ -го порядку.

Використання прямого варіаційного методу дозволяє апіорі забезпечити абсолютний мінімум термінального критерію (2).

У практичному плані мінімізація термінального критерію (2) дає змогу усунути удари у кінематичних зачепленнях механізмів, що, у свою чергу, підвищує їх довговічність. Крім того, зниження інтенсивності наростання прискорення ведучої маси системи (наприклад, ротора електродвигуна) дає змогу знизити небезпечні енерговтрати приводу.

Висновки

У роботі розроблено методи досягнення абсолютних мінімумів термінальних критеріїв при розв'язанні задач оптимального керування рухом динамічних систем. Наведено приклади розв'язання задачі за допомогою методів варіаційного числення, динамічного програмування та прямого варіаційного методу. Розроблені у роботі методи зводяться до задання відповідних початкових умов руху системи. Крім того, виконано узагальнення розроблених методів для термінальних критеріїв n -го порядку. Ви-

користання при синтезі режимів руху машин та механізмів розроблених методів дає змогу усунути удари у кінематичних зачепленнях та підвищити довговічність машин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов расчетной группы состава / В. И. Бобровский, А. С. Дорош // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 103–112. doi: 10.15802/stp2013/9582.
2. Волков, Д. П. Динамика и прочность одноковшовых экскаваторов / Д. П. Волков. – Москва : Машиностроение, 1965. – 462 с.
3. Герасимьяк, Р. П. Нагрузки в кинематических передачах двухмассовой электромеханической системы в процессе торможения / Р. П. Герасимьяк, Е. В. Найденко // Электротехн. и компьютер. системы. – 2015. – № 17 (93). – С. 15–22.
4. Григоров, О. В. Совершенствование рабочих характеристик крановых механизмов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.05 / Григоров Отто Владимирович ; Харьк. гос. политехн. ун-т. – Харьков, 1995. – 386 с. – Библиогр.: с. 357–377.
5. Грузоподъемные краны. Кн. 2 / М. Шеффлер, Х. Дресиг, Ф. Курт ; [пер. с нем. М. М. Рунов, В. Н. Федосеев] ; под ред. М. П. Александрова. – Москва : Машиностроение, 1981. – 287 с.
6. Лобов, Н. А. Динамика грузоподъемных кранов / Н. А. Лобов. – Москва : Машиностроение, 1987. – 160 с.
7. Ловейкін, В. С. Аналіз та синтез оптимального керування рухом вантажопідйомного крана прямим варіаційним методом / В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич // Наук. вісн. нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. Серія : «Техніка та енергетика АПК». – 2014. – Вип. 196, ч. 1. – С. 129–139.
8. Ловейкін, В. С. Оптимізація режимів руху кранових механізмів / В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич. – Київ. – Ніжин : ПП Лисенко М. М., 2011. – 307 с.
9. Ракша, С. В. Обоснование способов снижения энергопотребления подвесных канатных дорог / С. В. Ракша, А. С. Куропятник, А. А. Курка // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2014. – № 1 (49). – С. 125–131. doi: 10.15802/stp2014/22677.
10. Bellman, R. Dynamic programming / R. Bellman. – Princeton : Princeton university press, 1957. – 400 p.
11. Advanced theory of Mechanisms and Machines / M. Z. Kolovsky, A. N. Evgrafov, Yu. A. Se-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

- menov, A. V. Slousch. – Berlin : Springer, 2000. – 396 p. doi: 10.1007/978-3-540-46516-4.
12. Clarke, F. Functional Analysis, Calculus of Variations and Optimal Control / F. Clarke. – New York : Springer, 2013. – 606 p. doi: 10.1007/978-1-4471-4820-3.
 13. Genta, G. Vibration Dynamics and Control / G. Genta. – New York : Springer, 2009. – 806 p. doi: 10.1007/978-0-387-79580-5.
 14. Korn, G. A. Mathematical handbook for scientists and engineers / G. A. Korn, T. M. Korn. – Dallas : Dover Publications, 2000. – 1151 p.
 15. Seeler, K. A. System dynamics: an introduction for mechanical engineers / K. A. Seeler. – New York : Springer, 2014. – 667 p.
 16. Vulfson, I. Dynamics of cyclic machines / I. Vulfson. – New York : Springer, 2015. – 390 p. doi: 10.1007/978-3-319-12634-0.

В. С. ЛОВЕЙКИН^{1*}, Ю. А. РОМАСЕВИЧ^{2*}

^{1*}Каф. «Конструирование машин и оборудования», Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Героев обороны, 12в, Киев, Украина, 03041, тел. +38 (097) 349 14 53, эл. почта lovvs@ukr.net, ORCID 0000-0003-4259-3900

^{2*}Каф. «Конструирование машин и оборудования», Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Героев обороны, 12в, Киев, Украина, 03041, тел. +38 (097) 349 14 53, эл. почта d.um@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5069-5929

СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ РАБОТЫ МЕХАНИЗМОВ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ

Цель. Для снижения динамических нагрузок в механизмах необходимо определенным образом выбирать режимы их движения. Такой выбор должен осуществляться на оптимизационной основе. Целью работы является исследование методов синтеза режимов движения механизмов и машин, которые обеспечивают оптимальные режимы движения по терминальным и интегральным критериям. **Методика.** Для проведения исследований использована одностепенная динамическая модель механизма. В качестве оптимизационных критериев использованы терминальный и комплексный интегральный критерии. Поставленная оптимизационная задача решена с помощью динамического программирования и вариационного исчисления. Также был использован прямой вариационный метод, который позволил найти только приближенное решение исходной задачи оптимального управления. **Результаты.** Для каждого из методов решения задачи установлены способы обеспечения абсолютного минимума терминального критерия. Полученные в результате решений характеристики показывают плавность изменения кинематических функций при торможении механизма и указывают на достижение абсолютного минимума принятого в расчетах терминального критерия. **Научная новизна.** При решении задачи оптимального управления методом динамического программирования для достижения абсолютного минимума терминального критерия в уравнения динамики движения системы необходимо вводить новые переменные. В общем случае для достижения минимума терминального критерия n -го порядка решение оптимизационной задачи необходимо искать относительно функции $(n+1)$ -го порядка. При решении оптимизационных задач методом вариационного исчисления для того, чтобы обеспечить минимум терминального критерия n -го порядка путем выбора соответствующих краевых условий, необходимо решить уравнение Эйлера-Пуассона $2(n+1)$ -го порядка (при условии симметричного задания краевых условий). Данное уравнение, в свою очередь, является необходимым условием экстремума функционала с подинтегральным выражением $(n+1)$ -го порядка. **Практическая значимость.** Минимизация принятого в расчетах терминального критерия позволяет устранить удары в кинематических зацеплениях механизмов, что, в свою очередь, повышает их долговечность. Кроме того, снижение интенсивности нарастания ускорения ведущей массы системы (например, ротора электродвигателя) позволяет снизить нежелательные энергопотери привода.

Ключевые слова: оптимальное управление; терминальный критерий; динамическое программирование; вариационное исчисление; крайняя задача

V. S. LOVEIKIN^{1*}, YU. O. ROMASEVICH^{2*}

^{1*}Dep. «Machinery and Equipment Designing», National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroiv Oborony St., 12b, Kyiv, Ukraine, 03041, tel. +38 (097) 349 14 53, e-mail lovvs@ukr.net, ORCID 0000-0003-4259-3900

^{2*}Dep. «Machinery and Equipment Designing», National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroiv Oborony St., 12b, Kyiv, Ukraine, 03041, tel. +38 (097) 349 14 53, e-mail d.um@mail.ru, ORCID 0000-0001-5069-5929

DECREASING OF MECHANISMS DYNAMIC LOADING AT THE TRANSIENT STATE

Purpose. It is necessary to select modes of motion to reduce the dynamic loads in the mechanisms. This choice should be made on optimization basis. The purpose of research is to study methods of synthesis regimes of mechanisms and machines motion that provide optimal modes of movement for terminal and integral criteria.

Methodology. For research the one-mass dynamic model of the mechanism has been used. As optimization criteria the terminal and comprehensive integral criteria were used. The stated optimization problem has been solved using dynamic programming and variational calculation. The direct variation method, which allowed finding only approximate solution of the original problem of optimal control, has been used as well. **Findings.** The ways of ensuring the absolute minimum of terminal criterion have been set for each method of problem solving. The stated characteristics show softness changes of kinematic functions during braking of mechanism. They point to the absolute minimum of adopted terminal criterion in the calculation. **Originality.** It is necessary to introduce new variables in the system equations during the solving of optimal control problems using dynamic programming to achieve an absolute minimum of terminal criteria. In general, to achieve a minimum of n-order terminal criterion an optimization problem should find relatively (n+1)-th order function. When optimization problems is solving by variational calculation in order to ensure a minimization of n-th order terminal criterion by selecting the appropriate boundary conditions, it is necessary to solve the Euler-Poisson 2(n+1)-th order equation (subject to symmetric setting boundary conditions). It is a necessary condition for an extremum of the functional with the (n+1)-th order integrant. **Practical value.** Minimizing of adopted terminal criterion in the calculation allows eliminate the brunt in kinematic gearing of mechanisms, which increases their operational life. In addition, the reducing of the acceleration increasing intensity of system driving mass (for example, rotor of electric motor) allows reducing undesirable energy losses in a drive.

Keywords: optimal control; terminal criterion; dynamical programming; variation calculation; boundary problem

REFERENCES

1. Bobrovskiy V.I., Dorosh A.S. Optimizatsiya rezhimov tormozheniya ottsepov raschetnoy gruppy sostava [The optimization of retarding regimes within the particular group of cuts]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 1 (43), pp. 103-112. doi: 10.15802/stp2013/9582.
2. Volkov D.P. *Dinamika i prochnost odnokovshovykh ekskavatorov* [Dynamics and strength of single-bucket excavators]. Moscow, Mashinostoroeniye Publ., 1965. 462 p.
3. Gerasimyak R.P., Naydenko Ye.V. Nagruzki v kinematicheskikh peredachakh dvukhmassovoy elektromekhanicheskoy sistemy v protsesse tormozheniya [The loads in the kinematic transmission of two-mass electro-mechanical system in the braking process]. *Elektrotekhnicheskije i kompyuternyye sistemy – Electrotechnic and Computer Systems*, 2015, no. 17 (93), pp.15-22.
4. Grigorov O.V. *Sovershenstvovaniye rabochikh kharakteristik kranovykh mekhanizmov*. Dokt. Diss. [Improving of operational characteristics of crane mechanisms. Doct. Diss.], 1995. 386 p.
5. Sheffler M., Dresig Kh., Kurt F., Runov M.M., Fedoseyev V.N., Aleksandrova M.P. *Gruzopodemnyye krany* [Climbing cranes]. Moscow, Mashinostoroeniye Publ., 1981. 287 p.
6. Lobov N.A. *Dinamika gruzopodemnykh kranov* [Dynamics of climbing cranes]. Moscow, Mashinostoroeniye Publ., 1987. 160 p.
7. Loveikin V.S., Romasevych Yu.O. Analiz ta syntezy optymalnoho keruvannia rukhom vantazhopididomnoho krana priamym variatsiinym metodom [Analysis and synthesis of optimum control of movement of the crane

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

- using direct variational method]. *Naukovyi visnyk natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: «Tekhnika ta enerhetyka APK»* [Scientific Bulletin of national University of life and environmental Sciences of Ukraine. Series: «Technology and energy agriculture»], 2014, vol. 196, p. 1, pp. 129-139.
8. Loveikin V.S., Romasevych Yu.O. *Optymizatsiia rezhymiv rukhu kranovykh mekhanizmiv* [Optimization of movement modes of crane mechanisms]. Kyiv, Nizhyn, PP Lysenko M.M. Publ., 2011. 307 p.
 9. Raksha S.V., Kuropyatnik A.S., Kurka A.A. Obosnovaniye sposobov snizheniya energopotrebleniya podvesnykh kanatnykh dorog [Substantiation of ways of decrease in power consumption of ropeways]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 1 (49), pp. 125-131. doi: 10.15802/stp2014/22677.
 10. Bellman R. *Dynamic programming*. Princeton, Princeton University Press Publ., 1957. 400 p.
 11. Kolovsky M.Z., Evgrafov A.N., Semenov Yu.A., Slousch A.V. *Advanced theory of Mechanisms and Machines*. Berlin, Springer Publ., 2000. 396 p. doi: 10.1007/978-3-540-46516-4.
 12. Clarke F. *Functional Analysis, Calculus of Variations and Optimal Control*. Berlin, Springer Publ., 2013. 606 p. doi: 10.1007/978-1-4471-4820-3.
 13. Genta G. *Vibration Dynamics and Control*. New York, Springer Publ., 2009. 806 p. doi: 10.1007/978-0-387-79580-5.
 14. Korn G.A., Korn T.M. *Mathematical handbook for scientists and engineers*. Dallas, Dover Publications Publ., 2000. 1151 p.
 15. Seeler K.A. *System dynamics: an introduction for mechanical engineers*. New York, Springer Publ., 2014. 667 p.
 16. Vulfson I. *Dynamics of cyclic machines*. New York, Springer Publ., 2015. 390 p. doi: 10.1007/978-3-319-12634-0.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Г. А. Голубом (Україна); д.т.н., проф. С. В. Ракишою (Україна)

Надійшла до редколегії 14.09.2015

Прийнята до друку 10.11.2015

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463-027.45

С. В. МЯМЛІН^{1*}, Л. А. МУРАДЯН^{2*}, Д. М. БАРАНОВСЬКИЙ^{3*}

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

^{2*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, ел. пошта leon59@bk.ru, ORCID 0000-0003-1781-4580

^{3*}ПКТБ «Проектування та модернізація рухомого складу, колії та штучних споруд», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 12, ел. пошта denisbaranovskiy@mail.ru, ORCID 0000-0002-6516-2794

ПРОБЛЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНУ «НАДІЙНІСТЬ». МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ТА ВИВЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Мета. Наукова робота спрямована на розкриття існуючої проблеми визначення терміну «надійність» та надання обґрунтованого визначення цьому терміну. В ході дослідження передбачається розробка комплексу, який включає в себе методологію та відповідну термінологію, що буде відповідати дійсності. **Методика.** В даний час існує теорія надійності у вигляді окремого випадку ймовірно-статистичної теорії, яка використовується для визначення або передбачення настання відмов об'єкта. В межах існуючої теорії сформульований термін «надійність», визначені параметри, які належать до неї. **Результати.** На основі проведеного аналізу досліджень, в межах існуючої теорії надійності та особистих міркувань авторів роботи, було сформульоване визначення терміну «надійність». Запропоновано методологію побудови та вивчення надійності об'єкта на прикладі вантажного вагону. **Наукова новизна.** Авторами запропоновано нове визначення терміну «надійність». А саме: надійність – це оцінка здатності об'єкта зберігати закладені властивості в установлених межах і часовому просторі, в умовах зберігання й транспортування, а також виконувати необхідні функції в заданих режимах експлуатації з виконанням технічного обслуговування та ремонту об'єкта. До надійності належать параметри: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережаність, якими характеризується об'єкт. Також розроблена методологія побудови та вивчення надійності вантажного вагона, яка охоплює: 1) конструкторську, технологічну та експлуатаційну надійність; 2) науковий експеримент, який включає моделювання роботи вантажного вагона в різних умовах та експлуатаційних режимах; 3) теорію надійності, представлену комбінованою або модифікованою, що охоплює математичні та фізичні основи; 4) Бассову статистику, котра надає можливість описати різні стани вантажного вагона з розбиванням його на основні складові та, з відповідною ймовірністю для кожної складової, описувати загальну надійність. **Практична значимість.** Результати роботи дозволяють надати повну і достовірну картину при відповідній відмові вантажного вагона та удосконалити підходи до побудови й вивчення надійності вагона в цілому.

Ключові слова: вантажні вагони; надійність; відмова; ймовірно-статистична теорія; математична статистика

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Вступ

Залізничний транспорт у всьому світі займає значну частину ринку послуг, які пов'язані з організацією та забезпеченням перевізного процесу [4, 15, 17]. Основною і головною задачею залізниць є підвищення рівня безпеки руху поїздів, на яку впливають надійність і безвідмовність рухомого складу, ліній електропередач та зв'язку, пристроїв блокування, стан і профіль колії.

Вантажний рухомий склад, особливо піввагони, серед загальної кількості відмов залізничного транспорту знаходиться на перших позиціях [14, 16]. Це пов'язано з тим, що кількість вантажного рухомого складу є найбільшою, оскільки вантажні перевезення є основною дохідною діяльністю залізниць у всьому світі.

На надійність рухомого складу впливає конструкція і технологія виготовлення всіх складових [1, 8]. Тому, на етапі проектування необхідно закласти достатню міцність конструкції з урахуванням технології виготовлення, а також врахувати експлуатаційні фактори і досвід ведення вагонного господарства.

Однією з проблем сучасної теорії надійності, заснованої на класичних імовірнісних методах, є неможливість адекватного точного передбачення моменту виникнення відмови як випадкової події. Оскільки моменту відмови об'єкта (особливо тривалого використання) зазвичай передують складні внутрішні зміни. Ці зміни у вантажних вагонах можуть по-різному проявлятися залежно від місця та характеру відмови.

Сучасна методологія надійності повинна включати в себе цілий комплекс методів. Діалектичний метод необхідний для вивчення всього об'єкта дослідження. Також повинна бути визначена термінологія, на яку спираються подальше експериментальне дослідження і висновки.

Експериментальні дані та результати практичного досвіду піддаються фізико-математичній обробці, а далі, накопичена інформація піддається аналізу і синтезу як одному з основних методів обробки результатів дослідження, після чого за допомогою методів індукції та дедукції, що дозволяють від часткових фактів та положень, перейти до загальних висновків.

І тільки тоді робляться теоретичні викладки, які є основою теорії надійності.

Існуюча методологія вивчення надійності спирається на морально застарілу термінологію і не використовує у своїх розрахунках (теорії) багатий експериментальний матеріал і результати практичного досвіду. В основу цієї методології покладені математичні методи дослідження, що базуються на результатах відмов техніки без урахування причин, що їх викликають. Тільки комплекс досліджуваних і тісно пов'язаних між собою питань у вивченні надійності може дати повну і достовірну картину досліджуваного явища при відповідній відмові. Цей комплекс повинен включати в себе методологію та відповідну термінологію, що буде відповідати дійсності.

Існуючий понятійний апарат теорії надійності регламентований за допомогою досить великої кількості нормативно-технічних документів. Раніше – це ГОСТи, ОСТи, РТМ, РД [2]; зараз – ДСТУ [5, 6].

Далі спробуємо проаналізувати існуючий понятійний апарат теорії надійності.

Мета

Надати повну і достовірну картину досліджуваного явища при відповідній відмові. Розробити комплекс, який включає в себе методологію та відповідну термінологію, що буде відповідати дійсності.

Методика

У [5] наводиться визначення надійності – це властивість об'єкта зберігати у часі в установлені межі значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування. Крім того, наводяться дві примітки, перша з яких полягає у тому, що надійність є комплексною властивістю, що залежить від призначення об'єкта і умов його застосування, може містити в собі безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережуваність чи певні поєднання цих властивостей; друга, що наведений термін використовують лише для загального не кількісного опису вказаних властивостей.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Тобто в ДСТУ прописано, що це властивість об'єкта. Якщо це властивість, то вона в однині прописана. Добре, що в примітці прописано слово «комплексна», але, знову-таки, властивість в однині, а далі перераховується безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережуваність. Логічно більш правильним було б, що надійність – це комплекс властивостей об'єкта.

Крім того, необхідно відмітити, що у визначенні терміну надійності йдеться про «параметри, які характеризують здатність виконувати потрібні функції». У цьому випадку, можливо, безвідмовність і довговічність є цими параметрами, а, можливо, безвідмовність – це ймовірнісна функція, а довговічність – функція часу. В принципі таких варіантів можна запропонувати багато.

Не будемо зупинятися на вищенаведеному і проаналізуємо інші міркування щодо визначення надійності.

У роботах [9, 12] вважають, що надійність – це здатність об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення певних експлуатаційних властивостей в заданих межах при заданих режимах і умовах використання, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування. Крім того, як і у примітці до ДСТУ, автори вказують, що надійність – комплексна властивість, яка залежно від призначення об'єкта та умов його експлуатації може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збережуваність окремо або в їх поєднанні.

У роботах [10, 13] автори під поняттям «надійність» розуміють саме властивість, визначення якої дається і в ГОСТі і в ДСТУ, а інші автори – вважають, що надійність – це здатність [9, 12]. Тобто різні автори трактують поняття надійності по-різному: що це властивість щось зберігати ... або щось виконувати...

З іншого боку, зберігати або виконувати – це функціональні, скоріше, технологічні особливості і до властивостей об'єктів не мають відношення, це вже результат, дія або наслідок властивостей. Тобто, як було сказано раніше, можна було б пояснити надійність як наслідок комплексу властивостей, наприклад: конструктивних чи технологічних з закладеними фізико-

механічними, фізико-хімічними, трибологічними тощо.

Автори робіт [3, 7] стверджують, що надійність – це ймовірнісний показник, що визначає ймовірність того, що в заданому інтервалі часу або в межах заданого напруження не виникає відмови. Також автори вказують, що надійність конструкції залежить від здатності матеріалу чинити опір руйнуванню при виникненні пікових напруг.

У цьому випадку надійність має ймовірнісно-статистичний підхід. Тобто безвідмовність замінює надійність і виступає як самостійна величина.

Ймовірнісно-статистична теорія – це самостійна теорія, яка використовується для оцінки ймовірності настання чи здійснення тієї чи іншої події. Ця теорія працює на принципах оцінки настання або відсутності настання подій, тобто облік та розрахунок здійснених та нездійснених подій в роботі об'єкта (вагона) – відмов. На підставі цієї теорії (за допомогою статистичних даних) можна передбачати (прогнозувати) настання різних подій, тобто, в нашому випадку, оцінити наслідок надійності – відмов.

Розглядаючи далі надійність, можна констатувати, що на підставі теорії ймовірності та математичної статистики не вдасться підрахувати безвідмовність об'єкта, оскільки це є його безперервна функція (див. вище), тому набагато простіше і легше оперувати з відмовою. Відмова, як подія піддається статистичній обробці, а далі на основі отриманих статистичних даних може бути оцінена ймовірність настання цієї події (відмови) в будь-який заданий проміжок часу [11]. Виходячи з цього, відмова є основою для поняття безвідмовність, а, відповідно, і надійності.

Підсумовуючи вищенаведене, можна стверджувати, що в цей час існує теорія надійності у вигляді окремого випадку ймовірнісно-статистичної теорії, яка використовується для визначення або передбачення настання відмов об'єкта.

Результати

Спробуємо в межах існуючої теорії сформулювати термін «надійність». На нашу думку, надійність – це комплексна оцінка здатності

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

об'єкта зберігати закладені властивості в установлених межах і часовому просторі, в умовах зберігання та транспортування та виконувати необхідні функції в заданих режимах експлуатації з виконанням технічного обслуговування та ремонту. До надійності належать параметри: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережуваність, якими характеризується об'єкт.

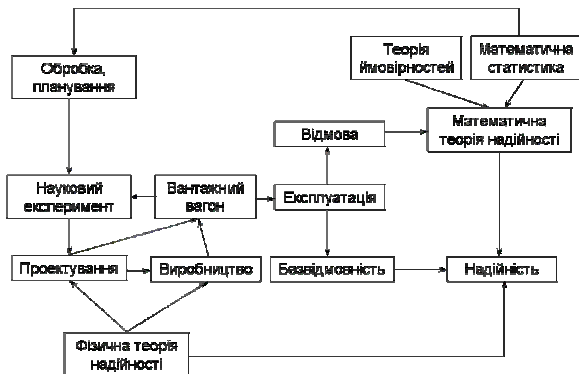


Рис. 1. Структурна схема побудови та вивчення надійності вантажного вагона

Fig. 1. Block diagram of the construction and study the reliability of a freight car

Як зазначалось на початку, існуюча методологія побудови надійності об'єктів потребує перегляду. Тому, розглянемо існуючу методологію побудови та вивчення надійності об'єктів та наведемо її структуру у вигляді блок-схеми (рис. 1) на прикладі вантажного вагона.

На нашу думку, методологія побудови та вивчення надійності, що наведена у вигляді блок-схеми на рис. 1, повинна містити дещо інші блоки та зв'язки. Тому, на рис. 2 наведена блок-схема побудови надійності на прикладі вантажного вагона.

Запропонована методологія побудови та вивчення надійності вантажного вагона (рис. 2) відрізняється від існуючої тим, що:

- надійність охоплює конструкторську, технологічну та експлуатаційну складові. Тобто окремо на кожному етапі існування вантажного вагона переглядається надійність і при цьому враховуються ті чи інші конструкторські, технологічні, експлуатаційні чинники, що впливають на загальну надійність вантажного вагона;
- науковий експеримент включає моделювання роботи вантажного вагона в різних

умовах та експлуатаційних режимах. На стадії експерименту в надійність вантажного вагона закладаються параметри, що отримані в результаті моделювання для відповідних умов експлуатації;

- теорія надійності охоплює математичні і фізичні основи, тобто є комбінованою, а застосування Бассової статистики надає можливість описати різні стани вантажного вагона з розбиванням його на основні складові та з відповідною ймовірністю для кожного з них описувати його загальну надійність.

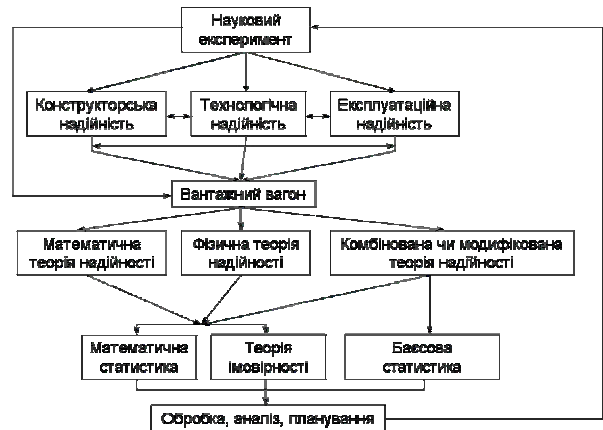


Рис. 2. Структурна схема запропонованої методології побудови та вивчення надійності вантажного вагона

Fig. 2. Block diagram of the proposed construction methodology and study the reliability of a freight car

Наукова новизна та практична значимість

У роботі по-новому сформульовано визначення терміну «надійність».

Набула подальшого розвитку методологія побудови та вивчення надійності вантажного вагона, яка охоплює конструкторську, технологічну та експлуатаційну надійність. Теорія надійності подана комбінованою або модифікованою, що охоплює математичні і фізичні основи, а застосування Бассової статистики надає можливість описати різні стани вантажного вагона з розбиванням його на основні складові та з відповідною ймовірністю для кожної складової описувати загальну надійність.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Результати роботи дозволяють надати повну і достовірну картину при відповідній відмові вантажного вагона та удосконалити підходи до побудови та вивчення надійності вагона в цілому.

Висновки

Виконаний аналіз досліджень в теорії надійності показав значні розбіжності у визначенні терміну «надійність». Основним визначенням в Україні відповідно до ДСТУ надійність є властивість об'єкта ..., але деякі закордонні вчені вважають, що це здатність об'єкта... На думку авторів – це зовсім інше.

В цей час теорія надійності існує тільки у вигляді окремого випадку ймовірнісно-статистичної теорії, яка використовується для визначення або передбачення настання відмов об'єкта. Тобто, безумовно, існує необхідність в застосуванні інших підходів в теорії надійності.

На підставі виконаного аналізу досліджень в межах існуючої теорії надійності та особистих міркувань авторів роботи було сформульоване визначення терміну надійності. Надійність – це комплексна оцінка здатності об'єкта зберігати закладені властивості в установлених межах і часовому просторі, в умовах зберігання та транспортування та виконувати необхідні функції в заданих режимах експлуатації з виконанням технічного обслуговування та ремонту. До надійності належать параметри: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережаність, якими характеризується об'єкт.

Крім того, запропоновано методологію побудови та вивчення надійності об'єкта на прикладі вантажного вагона. Запропонована методологія охоплює конструкторську, технологічну та експлуатаційну надійність; науковий експеримент включає моделювання роботи вантажного вагона в різних умовах та експлуатаційних режимах; теорія надійності представлена комбінованою або модифікованою, що охоплює математичні і фізичні основи, а застосування Баєсової статистики надає можливість описати різні стани вантажного вагона з розбиванням його на основні складові та з відповідною ймовірністю для кожної складової описувати загальну надійність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гапанович, В. А. Парк грузовых вагонов: перспективы развития / В. А. Гапанович // Вагоны и вагон. хоз-во. – 2004. – Пилотный вып. – С. 2–5.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения : утв. Пост. Госстандарта СССР 15.11.89 № 3375. – Введ. 1990–07–01. – Москва : Транспорт, 1990. – 32 с.
3. Губачева, Л. А. Надійність транспортних засобів : навч. посіб. / Л. А. Губачева. – Луганськ : СЛУ ім. В. Даля, 2009. – 93 с.
4. Губачева, Л. А. Определение функции эксплуатационной надежности / Л. А. Губачева // Заліз. трансп. України. – 2006. – № 1. – С. 20–25.
5. ДСТУ 3433–96. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення. – Київ : Держстандарт України, 1998. – 41 с.
6. ДСТУ 2860–94. Надійність техніки. Терміни та визначення. – Київ : Держстандарт України, 1995. – 92 с.
7. Дьяченко, С. С. Надежность колесных тракторов / С. С. Дьяченко, П. А. Стецко, Л. В. Лаврентьев. – Минск : Ураджай, 1987. – 106 с.
8. Калетин, С. В. Грузовые вагоны нового поколения / С. В. Калетин // Ж-д. трансп. – 2007. – № 8. – С. 10–12.
9. Международный стандарт ISO 8402. Качество. Словарь. – Москва : Изд-во стандартов, 1988. – 16 с.
10. Мямлін, С. В. Працездатність, ефективність експлуатації та довговічність дизелів спеціального самохідного рухомого складу залізниць / С. В. Мямлін, Д. М. Барановський. – Дніпропетровськ : Маковецький. – 2011. – 267 с.
11. Павлов, И. В. Статистические методы оценки характеристик надежности и эффективности сложных систем по результатам испытаний / И. В. Павлов. – Москва : Радио и связь, 1982. – 168 с.
12. Шведков, Е. Л. Словарь-справочник по порошковой металлургии / Е. Л. Шведков, Э. Т. Денисенко, И. И. Ковенский. – Київ : Наукова думка, 1982. – 270 с.
13. Шведков, Е. Л. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / Е. Л. Шведков. – Київ : Наук. думка, 1979. – 257 с.
14. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie / S. Myamlin, L. P. Lingaitis, S. Dailydka [et al.] // Transport. –

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

2015. – Vol. 30. – Iss. 1. – P. 88–92. doi: 10.3846/16484142.2015.1020565.
15. Gubacheva, L. A. Assurance of operate reliability of rolling stock / L. A. Gubacheva, N. M. Naish // J. of Guangdong non-ferrous metals. – 2005. – Vol. 15, № 2/3. – P. 200–212.
 16. Myamlin, S. V. Investigation of dynamic characteristics of gondola cars on perspective bogies / S. V. Myamlin, V. M. Bubnov, Ye. O. Pysmennyi // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпопетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2014. – № 5 (53). – С. 126–137. doi: 10.15802/stp2014/30789.
 17. Myamlin, S. V. The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing / S. V. Myamlin, D. M. Baranovskiy // Проблеми економіки транспорту : зб. наук пр. Дніпропетр. нац. ун-т ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – № 7. – С. 61–66.

С. В. МЯМЛИН^{1*}, Л. А. МУРАДЯН^{2*}, Д. Н. БАРАНОВСКИЙ^{3*}

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

^{2*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, эл. почта leon59@bk.ru, ORCID 0000-0003-1781-4580

^{3*}ПКТБ «Проектирование и модернизация подвижного состава, пути и искусственных сооружений», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 12, эл. почта denisbaranovskiy@mail.ru, ORCID 0000-0002-6516-2794

ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМИНА «НАДЕЖНОСТЬ». МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Цель. Научная работа направлена на раскрытие существующей проблемы определения термина «надежность» и предоставления обоснованного определения этому термину. В ходе исследования предполагается разработка комплекса, включающего в себя методологию и соответствующую терминологию, которая будет соответствовать действительности. **Методика.** В настоящее время существует теория надежности в виде частного случая вероятностно-статистической теории, которая используется для определения или предсказания наступления отказов объекта. В рамках существующей теории сформулирован термин «надежность», определены параметры, относящиеся к ней. **Результаты.** На основе проведенного анализа исследований, в рамках существующей теории надежности и личных соображений авторов работы, было сформулировано определение термина «надежность». Предложена методология построения и изучения надежности объекта на примере грузового вагона. **Научная новизна.** Авторами предложено новое определение термина «надежность». А именно: надежность – это оценка способности объекта сохранять заложенные свойства в установленных пределах и временном пространстве, в условиях хранения и транспортировки, а также выполнять требуемые функции в заданных режимах эксплуатации с выполнением технического обслуживания и ремонта объекта. К надежности относятся параметры: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохранность, которыми характеризуется объект. Также разработана методология построения и изучения надежности грузового вагона, которая охватывает: 1) конструкторскую, технологическую и эксплуатационную надежность; 2) научный эксперимент, включающий моделирование работы грузового вагона в разных условиях и эксплуатационных режимах; 3) теорию надежности, представленную как комбинированную или модифицированную, охватывающую математические и физические основы; 4) Байесову статистику, позволяющую описать различные состояния грузового вагона с разбивкой его на основные составляющие и, с соответствующей вероятностью для каждой составляющей, описывать общую надежность. **Практическая значимость.** Результаты работы позволяют предоставить полную и достоверную картину при соответствующем отказе грузового вагона и усовершенствовать подходы к построению и изучению надежности вагона в целом.

Ключевые слова: грузовые вагоны; надежность; отказ; вероятностно-статистическая теория; математическая статистика

S. V. MYAMLIN^{1*}, L. A. MURADIAN^{2*}, D. M. BARANOVSKY^{3*}

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

^{2*}Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 19, e-mail leon59@bk.ru, ORCID 0000-0003-1781-4580

^{3*}Project Design and Technological Bureau for design and modernization of rolling stock, track and man-made structures, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 12, e-mail denisbaranovskiy@mail.ru, ORCID 0000-0002-6516-2794

PROBLEM OF THE DEFINITION THE «RELIABILITY» TERM. METHODOLOGY OF CONSTRUCTION AND STUDY THE RELIABILITY OF FREIGHT CARS

Purpose. Scientific paper is aimed at disclosing the existing problem of the «reliability» definition and provides a reasoned definition of the term. The study assumes the development of a complex that includes the methodology and appropriate terminology that will be true. **Methodology.** Currently there is reliability theory in the special case of the probabilistic and statistical theory, which is used to determine or predict the occurrence of object failures. Within the existing theories the term «reliability» is formulated, the parameters related to it are described. **Findings.** On the basis of the conducted analysis of the research within the existing theory of reliability and personal considerations of the authors, they formulated a definition of the term «reliability». The methodology and study of the object reliability on the example of a freight car was proposed. **Originality.** The authors proposed a new definition of the «reliability» term. Namely: reliability is an assessment of the ability of an object to maintain the original property within the established limits and temporary space, in the conditions of storage and transportation, as well as to perform the required functions in predetermined modes of operation with maintenance and repair facility. The reliability parameters include: reliability, durability, maintainability and safety that characterize the object. Also a methodology for developing and study the reliability of a freight car was developed, which comprises: 1) design, technological and operational reliability; 2) scientific experiment, including the modeling of the freight car in different conditions and operating modes; 3) the reliability theory is presented as combined or modified, covering the mathematical and physical foundations; 4) Bayesian statistics that describe the different states of a freight car with a breakdown of its basic components and with the appropriate probability for each component to describe the overall reliability. **Practical value.** The results of the study allow to provide a full and accurate picture with a corresponding failure of a freight car and to improve approaches to the construction and study of the reliability of the car overall.

Keywords: freight cars; reliability; failure; probability and statistical theory; math statistics

REFERENCES

1. Gapanovich V.A. Park gruzovykh vagonov: perspektivy razvitiya [Freight car fleet: prospects of development]. *Vagony i vagonnoye khozyaystvo – Cars and Cars Facilities*, 2004, Pilotnyy vypusk [Pilot], pp. 2-5.
2. GOST 27.002-89. Nadezhnost v tekhnike. Osnovnyye ponyatiya. Terminy i opredeleniya [State standart 27.002-89. Reliability in technique. Basic concepts. Terms and definitions]. Moscow, Transport Publ., 1990. 32 p.
3. Hubacheva L.A. Nadiinist transportnykh zasobiv [Reliability of vehicles]. Luhansk, East-Ukrainian National University named after V. Dahl Publ., 2009. 93 p.
4. Gubacheva L.A. Opredeleniye funktsii ekspluatatsionnoy nadezhnosti [The definition of the function of operational reliability]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2006, no. 1, pp. 20-25.
5. DSTU 3433-96. Nadiinist tekhniki. Modeli vidmov. Osnovni polozhennia [State standart 3433-96. Reliability engineering. Failure models. The main provisions]. Kyiv, Derzhstandart Ukrainy Publ., 1998. 41 p.
6. DSTU 2860-94. Nadiinist tekhniki. Terminy ta vyznachennia [State standart 2860-94. Reliability engineering. Terms and definitions]. Kyiv, Derzhstandart Ukrainy Publ., 1995. 92 p.
7. Dyachenko S.S., Stetsko P.A., Lavrentev L.V. Nadezhnost kolesnykh traktorov [The reliability of wheeled tractors]. Minsk, Uradzhay Publ., 1987. 106 p.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

8. Kaletin C.B. Gruzovyye vagoni novogo pokoleniya [Freight cars of new generation]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2007, no. 8, pp. 10-12.
9. *Mezhdunarodnyy standart ISO 8402. Kachestvo. Slovar* [International standard ISO 8402. Quality. Dictionary]. Moscow, Standartinform Publ., 1988. 16 p.
10. Miamlyn S.V., Baranovskiy D.M. *Pratsezdannost, efektyvnost ekspluatatsii ta dozhovichnist dyzeliv spetsialnoho samokhidnoho rukhomoho skladu zaliznyts* [Working capacity, operating efficiency and durability of special self-moving diesel engines of rolling stock at railway]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2011. 267 p.
11. Pavlov I.V. *Statisticheskiye metody otsenki kharakteristik nadezhnosti i effektivnosti slozhnykh sistem po rezul'tatam ispytaniy* [Statistical methods for estimation of characteristics of reliability and efficiency of complex systems by test results]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1982. 168 p.
12. Shvedkov Ye.L., Denisenko E.T., Kovenskiy I.I. *Slovar-spravochnik po poroshkovoy metallurgii* [Dictionary-handbook of powder metallurgy]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1982. 270 p.
13. Shvedkov Ye. L. *Slovar-spravochnik po treniyu, iznosu i smazke detaley mashin* [Dictionary- handbook to friction, wear and lubrication of machine parts]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1979. 257 p.
14. Myamlin S., Lingaitis L.P., Dailidka S. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogies. *Transport*, 2015, vol. 30, issue 1, pp. 88-92. doi: 10.3846/16484142.2015.1020565.
15. Gubacheva L.A., Naish N.M. Assurance of operate reliability of rolling stock. *Journal of Guangdong non-ferrous metals*, 2005, vol. 15, no. 2/3, pp. 200-212.
16. Myamlin S.V., Bubnov V.M., Pysmennyi Ye.O. Investigation of dynamic characteristics of gondola cars on perspective bogies. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 5 (53), pp. 126-137. doi: 10.15802/stp2014/30789.
17. Myamlin S.V., Baranovskiy D.M. The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu «Problemy ekonomiky transportu»* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport «Problems of Transport Economy»]. Dnipropetrovsk, 2014, no. 7, pp. 61-66.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. І. ≈. Мартиновим (Україна)

Надійшла до редколегії: 18.07.2015

Прийнята до друку: 21.09.2015

UDC 629.45 – 048.24

S. V. MYAMLIN¹, A. G. REIDEMEISTER², A. L. PULARIIA³, V. O. KALASHNYK^{4*}¹Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 84 98, e-mail sergeymyamin@gmail.com, ORCID 0000-0002-7383-9304²Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 16, e-mail reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180³Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 16, e-mail pularija@mail.ru, ORCID 0000-0003-1144-4179^{4*}Dep. «Cars and Cars Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lasaryan, Lasaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 16, e-mail kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR EXTENDING
THE USEFUL LIFE OF PASSENGER CARS

Purpose. The vast majority of passenger car fleet of «Ukrzaliznytsia» have cars with outlasted service life. In this regard there is a need to find methods to justify the extending useful life of passenger cars and to assess the car body frame residual life conformity to the operating load for the next life time. **Methodology.** The selection of cars enforced technical diagnostics of cars to detect the level of corrosion and mechanical damage. The following steps provided the car body frame strength analysis on the basis of experimental static and impact strength tests, the longitudinal force effect endurance tests as well as assessment and forecasting of conformity of car body operating life for the next period. **Findings** The car survey before testing showed that the technical condition of sleeper cars (SSC) is better than that of open-type cars (SOC). So, in SSC cars the thinning of the main load-bearing elements due to corrosion does not exceed 10%, there are no cracks, deformations, rack breakages, etc. At the same time in SOC cars the thinning due to local corrosion reached 35%. There are deformations and corrosion damage of side sill Z-shape of both cars, single corner post breakages, damage to the joints of longitudinal tie rod and span bolsters. The conducted static and impact strength tests with following strength assessment of the car structural members showed that the strength of the latter is provided according to the normative documents, and these cars pose no threat to traffic safety. The impact endurance tests showed that all the cars passed the endurance tests without damage, which would prevent from testing and could not be removed during the next depot repair or overhaul, and had life length that allows them to extend the useful life for the next period. **Originality.** The results of experimental studies show that passenger cars after 28 ... 30 and 33... 35 years of operation meet the requirements of strength and safety in accordance with regulatory documents and allow, provided the impact endurance, reasonable extending of the car service life. **Practical value.** The part of the car fleet, which was to be written off based on the service life, may extend lifespan without additional measures.

Keywords: passenger car; service life; structural strength; conformity; static test; impact test; life length.

Introduction

Total passenger car fleet of «Ukrzaliznytsia» consists mainly of cars built in the eighties with the designed: normative service life – 28 years and maximum service life – 41 years. The research of passenger car fleet is considered in [1], [5].

The car fleet has about 86% of passenger cars with outlasted service life (over 28 years), about 500 cars with normative service life of 20 years, only 343 of which have the service life of 10 years. During the

period 1991 – end 2013 3 298 passenger cars were scraped (written off at the end of service life), 421 cars were to be written off in 2014. Thus, the intensity of passenger car fleet aging is increasing every year.

While the new cars are purchased in small amounts – «Ukrzaliznytsia» in the period 1991 – end 2013 at their own expense purchased 561 passenger cars, as well as 10 nine-car trains and 2 double-decker six-car trains. So every year the deficit of passenger cars is becoming tangible and may reach 2,364 cars in 2017, which is detrimental to the industry.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Because of the above objective reasons it became necessary to extend the service life of cars that have exhausted their primary resource. This makes it possible to slow down the growing deficit of passenger cars due to reasonable extension of their service life. The prerequisites of the above said extension are as follows:

- Designed service life was set at substantially excessive strength coefficients;
- Detailed analysis of technical condition of the cars to be written off shows that some cars are scrapped because of the malfunction incompatible with their further safe operation, but many of cars are written off from the inventory park when they reach the normative service life. However, a certain number of the latter still remain in good condition.

The possibility of extending the life of car supporting structures should be grounded by experimental and calculation-theoretical methods that include: inspection of their technical condition; experimental determination of load level and stress state of structural members; numerical calculations based on modern software systems to determine the stress-strain state by simulating the most adverse operating modes; residual life assessment (determination of the extended service life) with the numerical calculations of fatigue damage or by experimental life length testing. In addition, it should be noted that cars require an individual approach to the definition of the next service life (life length). This range of activities must be supported by repair technologies, which go beyond the scope of this study.

Problems of need statement for adjustment of cars useful service life extension in a particular way was considered both in Ukraine [3, 7, 8, 9, 12], and in near [17] and far abroad [18, 19]. The works [7, 9, 12] studied the problems and peculiarities of passenger car technical diagnosis. And the works [3, 8, 17, 18, 19] performed numerical calculations based on the finite-element model with strength assessment by I and III design modes. Further, considering the preliminary results, the calculations of structural members fatigue damage were performed to assess the remaining service life. In addition, the work [3] provides calculations for new cars and cars with minimum thickness of members (due to corrosion), as well as calculated significant impact of mechanical or

welded damage (undercuts), depending on the size of the latter, on the car service life.

However, only theoretical studies cannot fully take into account all the factors affecting the car during operation and possible deficiencies incorporated in the construction at the stages of design and production. It implies permissible size tolerances, replacement of materials during the manufacture, specific possible mechanical damage during repairs and corrosive damage in operation. Thus, the car physical condition for each batch of individual manufacturer will differ.

Therefore there is a need for implementing relevant tests conducted once every five years according to TSL-0070 [6]. Effectiveness of field tests and their impact on rolling stock traffic safety is proved in [10].

Purpose

In order to determine the feasibility of extending the useful life of passenger cars the car testing laboratory of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan by order of «Ukrzaliznytsia» conducted a set of field tests in 2013. The tests included static strength, impact strength (determining) and impact life length testing of cars.

Methodology

The cars for testing were randomly selected from the operating park, which exhausted the set service life or underwent the required scheduled types of repair. Some cars had damages allowed under [6]. As the sample cars there were selected two SOC cars (steel open-type sleeping cars) after 29 and 33 years of service, and two SSC cars (steel close-type sleeping cars) after 30 and 33 years of service.

Before testing the condition of cars underwent technical diagnosis to detect the level of corrosion and mechanical damage while metering the member thickness. All tests were performed according to the «Standards...» [11] and «Programme and methods ...» [15].

Static strength tests were performed to determine the stresses in car parts caused by structure and passenger weight. Vertical static load on the car body members caused by passenger weight was carried out by the car shed employees,

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

who were evenly distributed along the train, and that caused by own structure weight was determined as the total stress with the help of the factor that takes into account body weight, water and coal weight, etc. While carrying out the static tests the equipment readings were registered and the loading-unloading cycle repeated provided the sensor indication stability.

The impact strength tests were carried out to assess the stress state of the car structural members affected by the determined longitudinal forces in the range of 0,5 MN...2.5 MN [11,15]. Herewith the car structural member stress values and impact force values were recorded.

The impact life length tests were performed to calculate the life length of bearing members of car body for impact endurance affected by longitudinal force. Car impact was performed by run-up of a hammer car with the help of locomotive onto a test car, which was located in the head of a retaining wall. The tests were carried out at speeds of 3 km/h to 13 km/h [11,15] with a gradual impact velocity increase by 1...2 km/h. The impacts were carried out by series, corresponding to one year of operation. The condition for the test completion was to obtain the full amount of experimental data or the car bearing structure integrity damage, which would threaten the safety of further testing. The tests determined the impact force and selectively tensions in some structural members (at impact force over 2 MN).

All kinds of tests were carried out on the territory of a car shed. To do this, after the removal of technically diagnosed car body damages, the strain-gage sensors were attached to the cars to determine the stresses, and the serial couplers were replaced with the strain-gage ones to determine the impact force.

According to obtained results of mathematical processing of the recorded processes (structural members tension and impact force) each type of the test determined the following:

- The results of static tests defined the tension in the structural members caused by passenger weight and own body weight;
- The impact strength tests allowed to build the dependency diagrams of impact force – speed (Fig. 1), of car part stresses – impact force (Fig. 2), to define tensions in some body members and to assess the structure stress state by design mode I [11].

Findings

State of SSC car bodywork after 30 and 33 years of service differed little and is typical for vehicles operating for 30 ... 33 years. Local thinning of main bearing members (span bolster, cross-bearer and underframe end, except diagonals) due to corrosion did not exceed 10%, there were no cracks, deformations, post breakages and other damages. The largest local corrosion damages were recorded in underframe sill diagonals (about 20%).

State of SOC car bodywork after 29 and 33 years of service is even worse in general, but is typical for this class of vehicles operating for 29...33 years. The span bolster thinning due to local corrosion reached 30% for 29-year service car and 35% for 33-year service car. The largest local corrosion damages in the side sill are recorded in the car after 29 years of service – 33%, the longitudinal tie rod thinning is about the same for both cars – up to 24%. There are deformations and corrosion damage of side sill Z-shape of both cars, single corner post breakages, damage to the joints of longitudinal tie rod and span bolsters.

The above damages can be removed during the scheduled repair in accordance with the instructions of TSL-0026 [4], TSL-0036 [14], TSL-0041 [2] – so all the cars listed above have been taken for testing.

Static and impact strength tests showed:

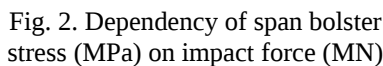
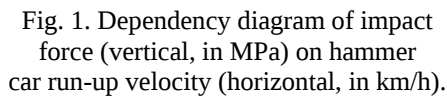
- Total static stress caused by passenger weight with luggage is insignificant. Herewith the stress in the sleeping car body members did not exceed 10.4 MPa. In the open-type cars the maximum stress was recorded in span bolster (20 MPa), cross-bearer (23.8 MPa) and side sill (30.3 MPa);

– The obtained mathematically processed results of car impact strength tests provided the stress value and dependence in the structural members and the hammer car run-up velocity caused by impact force (Fig. 2).

The diagrams show the strict linear relationship of parameters. This dependency of stress on impact force is peculiar for the structural members of all tested cars:

- The sleeping cars constructed in 1980 and 1983 take the impact load with the draft sill (105 MPa) and the span bolster (118 MPa), as well as the side wall panel bottom (230 MPa). Other

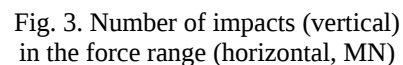
members of the body have much lower impact stress. The largest total stress in the structural members is marked in the draft sill (130 MPa), span bolster (152 MPa), side sill (208 MPa) and cross-bearer (158 MPa). In general, the total stress does not exceed the allowable value that for 09G2-grade steel of 295 strength class is 305 MPa. The stressed state of the sleeping car bodies after 30 and 33 years of service has no significant differences;



- (156 MPa). It should be noted that the stress level in some parts of the car built in 1984 is by 20% lower than that of the car built in 1980. In general, total stress of both cars does not exceed the allowable values.

As a result of impact endurance tests the entire range of longitudinal forces was distributed at intervals followed by calculation of impact endurance intervals, and then by total life length for each car. Fig. 3 shows an example of impact distribution in each force range (MN) for sleeping cars.

The figure shows the lighter tone for the number of efforts received by the car in the wall, the dark one – as a hammer. The largest impact number, 202, is recorded in the operating load range (0.5 ... 1.5 MN). In total each car received 257 impacts from 0.5 to 2.94 MN.



- Sleeping cars were not damaged during the test

- Open-type cars constructed in 1980 and 1984 after the tests had damages common to both cars: deformation of side sill Z-shape (Fig. 4), cracks and breakages of the corner posts from side sill, cracks in span bolster bottom sheet welds. Besides the car built in 1980 got a crack in the joint of longitudinal tie rod and span bolster (Fig. 5);
- All cars passed the endurance tests without damage which would prevent from testing and could not be removed during the next depot repair or overhaul;
- All cars have life length that allows them to extend the useful life for the next 5 years.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ



Fig. 4. Deformation of side sill at 2500 mm length of non-boiler side, bend 20 mm



Fig. 5. The crack on the welding seam at the joint of the lower sheet of span bolster with the longitudinal tie rod

The results of experimental tests are correlated well with the results of theoretical studies [3]. In both cases, the sleeping car design has a larger strength margin than that of the open-type car.

Originality and practical value

The results of experimental static and impact endurance tests prove that passenger cars after 28 ... 30 and 33... 35 years of operation meet the requirements of regulatory documents relating to strength and safety of operation. The conducted life length tests have shown that provided the impact endurance the car service life can be extended for the next 5 years. The results can be used to extend the service life of above mentioned cars. The conducted research allowed justifying the possibility to continue the operation of passenger cars without additional measures after 28...30 and 33...35 years of service in the amount of 1,766 units.

Conclusions

The conducted studies determined that the passenger sleeping cars and open-type cars constructed before the year 1989 with specific corrosion damage level have the life length sufficient for their subsequent operation over the next 5 years. After the term exhaustion it is recommended to carry out the life length tests for assessment of the remaining life, which will depend on general and operation conditions of the cars.

In relation to open-type cars after 28 years of operation, when conducting the scheduled repairs, special attention should be paid to the state of side sill and corner posts. In case of suspected breakage in corner posts and side sill (visual subsidence of side wall) it is necessary to conduct a survey with removed outer skin and appropriate repairs. And in case of OR-1 these measures are mandatory.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Божок, Н. О. Дослідження сучасного стану пасажирських вагонів / Н. О. Божок, Ю. В. Булгакова, А. Л. Пуларія // Проблеми економіки транспорту : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 8. – С. 78–87.
2. Вагони пасажирські суцільнометалеві. Правила капітального ремонту (КР-1) : ЦЛ-0041. – Київ : Поліграфсервіс, 2004. – 24 с.
3. Дослідження граничного стану пасажирських вагонів / О. А. Шикунів, О. Г. Рейдемейстер, В. Г. Анофрієв [та ін.] // Вагонний парк. – 2012. – № 12. – С. 4–6
4. Інструкція по зварюванню та наплавленню при ремонті пасажирських вагонів : ЦЛ-0026. – Київ : Поліграфсервіс, 2001. – 411 с.
5. Лобойко, Л. М. Стан вагонного парку та вагоноремонтної бази в Україні / Л. М. Лобойко, Ю. С. Бараш // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 18. – С. 126–132.
6. Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін, з метою його продовження : ЦЛ-0070. – Київ : Нескінчене джерело, 2008. – 60 с.
7. Мямлин, С. В. Диагностирование подвижного состава с целью продления срока службы / С. В. Мямлин, В. Г. Анофрієв, А. Л. Пуларія // Проблеми и перспективы развития ж.-д. трансп. : тез. LXVI Междунар. науч.-практ. конф. (11.05–12.05 2006) / Днепропетр. нац.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепропетровск, 2006. – С. 108–109.
8. Мямлин, С. В. Научные методы оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава / С. В. Мямлин, В. Л. Горобец // Вісн. сертифікації залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2011. – № 8. – С. 12–17.
 9. Мямлин, С. В. Проблемы технического диагностирования пассажирских вагонов / С. В. Мямлин, А. Л. Пулария // Розвиток наукової школи трансп. механіки : тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф. / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровск, 2013. – С. 65–67.
 10. Натурные испытания подвижного состава – гарантия безопасности движения поездов / Е. П. Блохин, А. Н. Пшинько, М. Л. Коротенко, С. В. Мямлин // Безопасность движения поездов : тр. 11^й науч.-практ. конф. (21.10.–22.10.2010). – Москва, 2010. – С. 1–2.
 11. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1 520 мм (несамоходных). – Москва : ГосНИИВ ; ВНИИЖТ, 1996. – 354 с.
 12. Особенности технического диагностирования подвижного состава / С. В. Мямлин, В. Г. Анофриев, А. Л. Пулария [и др.] // Сучасні проблеми та ефективні шляхи ремонту і відновлення залізн. рухомого складу : пр. 1 Міжнар. наук. конф. / ДП «ПВІТБ «Київдніпро-транс». – Київ, 2006. – С. 16–17.
 13. Правила виключення пасажирських вагонів із інвентарного парку : ЦЛ–0069. – Київ : Нескінчене джерело, 2008. – 40 с.
 14. Правила деповського ремонту (ДР). Вагони пасажирські суцільнометалеві : ЦЛ–0036. – Київ : Поліграфсервіс, 2003 – 20 с.
 15. Програма і методика проведення ударних ресурсних випробувань пасажирських вагонів, що виступили призначений термін служби : узгодж. ЦЛ, ЦРБ, ЦТех Укрзалізниці та УкрНДІВ : ПМ 01-13/ВЛВ. – Дніпропетровськ, 2013. – 16 с.
 16. РД 24.050.37–95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – Москва : ВНИИЖТ, 1995. – 101 с.
 17. Третьяков, А. В. Техническое диагностирование и установление ресурса срока службы пассажирских вагонов / А. В. Третьяков, Д. А. Хакракторов // Подв. состав XXI века: идеи, требя, проекты : тез. конф. / Петерб. гос. ун-т путей сообщения. – Санкт-Петербург, 1997. – С. 1–2.
 18. Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models / C. Baykasoglu, E. Sunbuloglu, S. E. Bozdog [et al.] // Intern. Iron & Steel Symposium (02.04–04.04.2012) / Karabük University. – Istanbul, 2012. – P. 579–586.
 19. Railway passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness / C. Baykasoglu, E. Sunbuloglu, E. Bozdog [et al.] // Intern. J. of Crashworthiness. – London, 2011. – Vol. 16. – Iss. 3. – P. 319–329. doi: 10.1080/13588265.2011.566475.

С. В. МЯМЛИН¹, А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР², А. Л. ПУЛАРИЯ³, В. А. КАЛАШНИК^{4*}

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

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

³Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, эл. почта pularija@mail.ru, ORCID 0000-0003-1144-4179

^{4*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, эл. почта kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКА ПОЛЕЗНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Цель. Пассажирский вагонный парк Укрзализниці в подавляющем большинстве имеет вагоны со сверхнормированным сроком службы. В связи с этим возникает необходимость поиска методов обоснования продолжения полезной эксплуатации пассажирских вагонов и оценки соответствия остаточного ресурса конструкции кузовов вагонов эксплуатационным нагрузкам в течение следующего срока использования. **Методика.** При отборе вагонов выполнялось техническое диагностирование их состояния с целью выявления уровня коррозионных и механических повреждений. На следующих этапах выполнялось исследование прочности несущих конструкций кузовов вагонов на основе экспериментальных статических и ударных испытаний на прочность, ресурсных испытаний на действие продольных сил. Выполнялась оценка и прогнозирование соответствия ресурса кузовов вагонов на следующий период. **Результаты.** Обследования вагонов до испытаний показало, что техническое состояние купейных вагонов ЦМК лучше, чем вагонов открытого типа ЦМО. Так, в вагонах ЦМК уменьшение толщины основных несущих элементов вследствие коррозии не превышало 10 %, отсутствовали трещины, деформации, обрывы стоек и прочее. В то же время в вагонах ЦМО уменьшение толщины вследствие локальной коррозии достигало 35 %. Имеются деформации и коррозионные повреждения Z и нижней обвязки обоих вагонов, единичные обрывы стоек, повреждения мест соединения хребтовой и шкворневой балок. Проведенные статические и ударные испытания с последующей оценкой прочности элементов конструкции вагонов показали, что прочность последних обеспечивается согласно нормативных документов и такие вагоны не несут угрозы безопасности движения. Ударные ресурсные испытания показали, что все вагоны прошли их без повреждений. Данные повреждения могли бы препятствовать проведению испытаний и не могли быть устранены при проведении очередного депоовского или капитального ремонта и имели наработки на ресурс, которые позволяют продлить срок их полезной эксплуатации на следующий период. **Научная новизна.** Результаты проведенных экспериментальных исследований доказывают, что пассажирские вагоны после 28...30 и 33...35 лет эксплуатации отвечают условиям прочности и безопасности движения в соответствии с нормативной документацией и позволяют при условиях ударной выносливости обоснованно продлевать срок службы вагонов. **Практическая значимость.** Часть вагонного парка, которая должна списываться по сроку эксплуатации, без дополнительных мероприятий может продолжить свой срок службы благодаря разработанным рекомендациям.

Ключевые слова: пассажирский вагон; срок эксплуатации; прочность конструкции; соответствие; статические испытания; ударные испытания; наработка на ресурс

С. В. МЯМЛІН¹, О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР², А. Л. ПУЛАРИЯ³, В. О. КАЛАШНИК^{4*}

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

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

³Каф. «Вагони і вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056)) 793 19 16, ел. пошта pularija@mail.ru, ORCID 0000-0003-1144-4179

^{4*}Каф. «Вагони і вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 16, ел. пошта kv47@i.ua, ORCID 0000-0002-8073-4631

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ІЗ ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ КОРИСНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

Мета. Пасажи́рський вагонний парк Укрзалізниці в переважній більшості має вагони з понаднормованим терміном служби. У зв'язку з цим виникає необхідність пошуку методів обґрунтування продовження корисної експлуатації пасажирських вагонів та оцінки відповідності залишкового ресурсу конструкції кузовів вагонів експлуатаційним навантаженням протягом наступного терміну використання. **Методика.**

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

При відборі вагонів виконувалось технічне діагностування їх стану з метою виявлення рівня корозійних та механічних пошкоджень. На наступних етапах виконувалось дослідження міцності несучих конструкцій кузовів вагонів на підставі експериментальних статичних та ударних на міцність випробувань, ресурсних випробувань на дію поздовжніх сил. Виконувалась оцінка та прогнозування відповідності ресурсу кузовів вагонів на наступний період. **Результати.** Обстеження вагонів до випробувань показало, що технічний стан купейних вагонів ЦМК кращий, ніж вагонів відкритого типу ЦМО. Так, у вагонах ЦМК зменшення товщини основних несучих елементів внаслідок корозії не перевищувало 10 %, були відсутні тріщини, деформації, обриви стійок та інше. В той же час у вагонах ЦМО зменшення товщини внаслідок локальної корозії досягало 35 %. Наявні деформації та корозійні пошкодження Z нижньої обв'язки обох вагонів, поодинокі обриви стійок, пошкодження місць з'єднання хребтової і шкворневої балок. Проведені статичні та ударні на міцність випробування із подальшою оцінкою міцності елементів конструкції вагонів показали, що міцність останніх забезпечується згідно нормативних документів та такі вагони не несуть загрози безпеці руху. Ударні ресурсні випробування показали, що всі вагони пройшли їх без ушкоджень. Ці ушкодження могли б перешкоджати проведенню випробувань і не могли бути усунені при проведенні чергового депоовського або капітального ремонту та мали напрацювання на ресурс, яке дозволяє продовжити термін їх корисної експлуатації на наступний період. **Наукова новизна.** Результати проведених експериментальних досліджень доводять, що пасажирські вагони після 28...30 та 33...35 років експлуатації відповідають умовам міцності та безпеки руху згідно з нормативною документацією та дозволяють за умов ударної витривалості обґрунтовано продовжувати термін служби вагонів. **Практична значимість.** Частина вагонного парку, яка повинна списуватися за терміном експлуатації, без додаткових заходів може продовжити термін служби завдяки розробленим рекомендаціям.

Ключові слова: пасажирський вагон; термін експлуатації; міцність конструкції; відповідність; статичні випробування; ударні випробування; напрацювання на ресурс

REFERENCES

1. Bozhok N.O., Bulhakova Yu.V., Pulariia A.L. Doslidzhennia suchasnoho stanu pasazhyrskykh vahony. [Research of contemporary state of passenger cars]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika Lazariana. Problemy ekonomiky transportu* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Problems of transport economy], 2014, issue 8, pp. 78-87.
2. *Vahony pasazhyrski sutsilnometalevi. Pravyla kapitalnoho remontu (KR- : TsL-0041* [The all-metal passenger cars. The rules of overhaul (KR-1): TsL-0041]. Kyiv, Polihrafservis Publ., 2004. 24 p.
3. Shykunov O.A., Reidemeister O.H., Anofriiev V.H. Doslidzhennia hranychnoho stanu pasazhyrskykh vahoniv [Study of ultimate limit state passenger cars]. *Vagonnyy park – Car Fleet*, 2012, no. 12, pp. 4-6
4. *Instruktsiia po zvariuvanniu ta naplavlenniu pry remonti pasazhyrskykh vahoniv: TsL-0026* [Instructions for welding and weld repair of passenger cars: TsL-0026]. Kyiv, Polihrafservis Publ., 2001. 411 p.
5. Loboiko L.M., Barash Yu.S. Stan vahonnoho parku ta vahonoremontnoi bazy v Ukraini [The condition of rolling stock and repair base in Ukraine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 126-132.
6. *Metodyka tekhnichnoho diahnostuvannia pasazhyrskykh vahoniv, shcho vysluzhyly pryznachenyi termin, z metoiu yoho prodovzhennia: TsL-0070* [The procedure of technical diagnostics of passenger cars, that had expired the appointed time, with a view to its continuation: TsL-0070.]. Kyiv, Neskinchenne dzherelo Publ., 2008. 60 p.
7. Myamlin S.V., Anofriiev V.G., Pulariya A.L. Diagnostirovaniye podvizhnogo sostava s tselyu prodleniya sroka sluzhby [Diagnosing of rolling stock for the purpose of extending the services time]. *Tezisy LXVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. «Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta (11.05–12.05 2006)»* [Proc. of the LXVI Intern. Sci. and Practical Conf. «Problems and prospects of railway transport development (11.05–12.05 2006)»], 2006, pp. 108-109.
8. Myamlin S.V., Gorobets V.L. Nauchnyye metody otsenki resursa nesushchikh konstruktsey podvizhnogo sostava [Scientific methods of resource assessment of load-bearing structures of the rolling stock]. *Visnyk ser-tifikatsii zaliznychnoho transport* [Bulletin of the Certification of Railway Transport], 2011, no. 8, pp. 12-17.
9. Myamlin S.V., Pulariya A.L. Problemy tekhnicheskogo diagnostirovaniya passazhirskikh vagonov [Problems of technical diagnostics of passenger cars]. *Tezy dopovidei Mizhnarodnoi nauково-tekhnichnoi konferentsii.*

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- «Rozvytok naukovoï shkoly transportnoi mekhaniky» [Proc. of the Intern. Sci. and Technical Conf. «The development of the scientific school of transport mechanics»], 2013, pp. 65–67.
10. Blokhin Ye.P., Pshinko A.N., Korotenko M.L., Myamlin S.V. Naturnyye ispytaniya podvizhnogo sostava – garantiya bezopasnosti dvizheniya poyezdov [Full-scale tests of rolling stock – the safe movement of trains]. *Trudy 11y nauchno-prakticheskoy konferentsii «Bezopasnost dvizheniya poyezdov (21.10.–22.10.2010)»* [Proc. of the 11th Sci. and Practical Conf. «The safety of train movement (21.10.–22.10.2010)»]. Moscow, 2010, pp. 1–2.
 11. *Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznnykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Norms for calculation and design of cars of Ministry of Railways of 1520 mm track (dumb)]. Moscow, GosNIIV, VNIIZhT Publ., 1996. 354 p.
 12. Myamlin S.V., Anofriev V.G., Pulariya A.L. Osobennosti tekhnicheskogo diagnostirovaniya podvizhnogo sostava [Features of technical diagnostics of rolling stock]. *Pratsi 1 Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii. «Suchasni problemy ta efektyvni shliakhy remontu i vidnovlennia zaliznychnoho rukhomoho skladu»* [Proc. of the 1st Intern. Sci. Conf. «Contemporary issues and effective ways of repair and restoration of railway rolling stock»]. Kyiv, 2006, pp. 16–17.
 13. *Pravyla vykliuchennia pasazhyrskykh vahoniv iz inventarnoho parku : TsL–0069* [The rules of exclude the passenger cars from the inventory Park : TsL–0069]. Kyiv, Neskinchenne dzherelo Publ., 2008. 40 p.
 14. *Pravyla depovskoho remontu (DR). Vahony pasazhyrski sutsilnometalevi: TsL–0036* [Rules depot repair (DR). The all-metal passenger cars: TsL–0036]. Kyiv, Poligrafservis Publ., 2003. 20 p.
 15. *Prohrama i metodyka provedennia udarnykh resursnykh vyprobuvan pasazhyrskykh vahoniv, shcho vysluzhyly pryznachenyi termin sluzhby* [Program and methodology for impact endurance testing of passenger cars, which had expired specified lifetime]. Dnipropetrovsk, 2013. 16 p.
 16. *RD 24.050.37–95. Vagony gruzovyye i passazhirskiye. Metody ispytaniy na prochnost i khodovyye kachestva* [RD 24.050.37–95. Freight and passenger cars. Test methods for durability and performance]. Moscow, VNIIZhT Publ., 1995. 101 p.
 17. Tretyakov A. V., Kharakterov D. A. Tekhnicheskoye diagnostirovaniye i ustanovleniye resursa sroka sluzhby passazhirskikh vagonov [Technical diagnostics and the establishment of resource of passenger cars life]. *Tezisy konferentsii: «Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty»* [Proc. of the Conf. «Rolling stock of XXIst century: ideas, requirements, projects»]. Saint-Petersburg, 1997, pp. 1–2.
 18. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdog S.E. Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. Intern. Iron & Steel Symposium (02.04–04.04.2012). Istanbul, 2012, pp. 579–586.
 19. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdog E., Aruk F., Toprak T., Mugan A. Railway passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness. *Intern. Journal of Crashworthiness*. London, 2011. vol. 16, issue 3, pp. 319–329. doi: 10.1080/13588265.2011.566475.

Prof. V. L. Horobets, Senior Scientific Researcher (Ukraine); F. V. Mamedov, Deputy Director of Passenger Transportations (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: Sept. 14, 2015

Received: Nov. 13, 2015

UDC 629.45/.46.077-048.24

A. G. REIDEMEISTER^{1*}, V. YU. SHAPOSHNYK^{2*}

^{1*}Dep. «Car and Car Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

^{2*}Laboratory «Cars», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail v.sh91@mail.ru, ORCID 0000-0003-4701-6491

DETERMINATION OF STOPPING DISTANCE OF UNPOWERED ROLLING STOCK BY METHOD OF SEQUENTIAL BRAKING

Purpose. In the paper it is necessary to estimate the determination accuracy of a car stopping distance during the test by the method of sequential braking. The method of sequential braking is applied for experimental evaluation of the stopping distances. Unlike the abandonment method when a sample car is disconnected from the tractive connection and they record the stopping distance of a single car from the moment of uncoupling to the moment of stop, the method of sequential braking involves stopping distance measurement of the tractive connection, the integrity of which in the course of the test is not affected, but its set (locomotive, locomotive with the track test car or with a sample car) at the different stages of the test is changed. Direct measuring of the stopping distance of a sample car is not possible using this way, it requires calculating of the stopping distance values of the tractive connection. This adversely affects the accuracy of the result, but it can increase the safety level of the test. **Methodology.** To evaluate the accuracy researches have conducted the numerical experiment, which simulated experimental processing of stopping distance values. An error was found by giving disturbance of basic data (stopping distance of tractive connection of different configuration) and analysing the resulted scatter of readings (stopping distance of a single car). **Findings.** The study proved: 1) the relative error of car stopping distances value, with relative error of basic data 1%, made 3.3-19.7% (depending on the tractive connection variant). 2) the proposed ways of error reduction (without track test car, less-weighted-locomotive use) allowed declining the error to 2.15-5.1%. **Originality.** The methodology of error estimation of car stopping distances determination under tests by the method of sequential braking was proposed. **Practical value.** Work results make it possible to replace the running brake tests by the abandonment method, under which the integrity of tractive connections is broken, with safer testing by the method of sequential braking, providing the level of result accuracy of 2-5%.

Keywords: stopping distance; abandonment method; method of sequential braking; sample tractive connection; error

Introduction

In the current regulatory documents [8] one of the effectiveness criteria of the car automatic brake is considered stopping distance. Stopping distance is the distance traveled by train from the moment of shift of brake valve handle or emergency valve into the braking position to the full stop of train [5, 12]. The stopping distance is determined by means of field experiment [14, 1]. For the test there is formed a sample traction unit of a locomotive, a track test car and a single car. It is allowed conducting the test without a track test car if its functions are performed by the lead locomotive. The value of the stopping distance is assumed the track traveled by car from the moment of uncoupling from a sample tractive connection to the

complete stop. This method of determining the stopping distance was called the «abandonment» method. In cases when the integrity of the tractive connection must not be broken, the method of sequential braking is used. One conducts a series of braking with a sample tractive connection, consisting of a locomotive, a track test car, and, if necessary, a sample car, with recording of braking distance. The values of the tractive connection stopping distance with a sample car and without it are used to calculate the stopping distance of a single car [2, 10]. The literature focuses on the method of sequential braking during unpowered rolling stock testing [3, 6]. According to the requirements of regulatory documents [8] the value of target brake application speed is selected from a range of 60 km/h and further at intervals of 20 km/h till the

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

design speed. The tools for speed and stopping distance measurement should meet the following requirements listed in Table 1.

Table 1

**Permissible absolute error of measuring
equipment while determining
the stopping distance [8]**

Type of measurement	Error, not more
Running speed	± 0.2 km/h
Stopping distance	± 0.5 %

Purpose

To estimate the determination accuracy of a car stopping distances during the test by the method of sequential braking.

Methodology

Determination of the stopping distance of the sample car by method of sequential braking can be carried out according to the presented method. When there are set speeds one calculates the braking force of the locomotive or the tractive connection locomotive-track-test-car (L) and the tractive connection with a sample car (L-SC). Having processed the stopping distance results we determine the braking force L and L-SC by the formula:

$$B_i = \frac{E_i}{S_i} - W_i, \quad (1)$$

where E_i – kinetic energy; S_i – braking length; W_i – resistance to movement; i – index indicating the set of tractive connection.

Kinetic energy is determined by the formula [4]

$$E_i = \frac{Q_i (1 + \gamma) V_b^2}{2g}, \quad (2)$$

where Q_i – weight; V_b – velocity at the beginning of braking; g – gravitation acceleration, $g = 9.81$ m/s²; γ – coefficient taking into account the steadying effect.

The coefficient γ assume as [9]

- Locomotive – 0.25;
- Passenger car 0.5;
- Freight car:
- Loaded – 0.08;
- Empty – 0.04.

For coupled unit the coefficient γ is determined by formula:

$$\gamma = \frac{\sum Q_i \gamma_i}{\sum Q_{tc}}, \quad (3)$$

where Q_{tc} – weight of tractive connection.

Resistance to movement is determined by the formula

$$W_i = \sum w_i Q_i, \quad (4)$$

where w_i – specific resistance to movement

$$w_i = 0.4w_{V_b} + 0.6w_{V_e}, \quad (5)$$

where w_{V_b} , w_{V_e} – basic specific resistance to movement at speeds at the beginning and at the end of braking, respectively [5, 12].

The braking force of a sample car is determined by the formula

$$B_{sc} = B_{L-sc} - B_L, \quad (6)$$

The braking length of the test car is calculated by the formula:

$$S_s = \frac{E_{sc}}{(B_{sc} + W_{sc})}, \quad (7)$$

To verify the proposed method there were conducted the calculations of stopping distance of the tractive connection with the sample car and without it, and of the sample car separately by the typical method [11]. Then the obtained values for the tractive connections were used as input data to determine the stopping distance of sample car by the expressions (1-7). The results are shown in Table 2. The parameters of locomotives and cars are given in Table 3.

The values of stopping distance for different configurations of sample tractive connection shown in Table 4 were obtained at the initial braking speed of 120 km/h.

Table 2

**The stopping distance of tractive connection
by the method [11]**

Tractive connection *	Stopping distance, m
1	2
VL80	
VL80(ci)	1 060.35

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

End of table 2

Tractive connection *	Stopping distance, m
1	2
VL80(ciph)	963.19
VL80-SC:	
VL80(ci)-SC(ci, l):	1 205.78
VL80(ci)-SC(ci, e):	1 035.25
VL80(ciph)-SC(c, l):	865.28
VL80(ciph)-SC(c, e):	820.24
VL80-TC	
VL80(ci)-TC(ci)	990.53
VL80-TC-SC:	
VL80(ci)-TC(ci)- SC(ci, l):	1 115.61
VL80(ci)-TC(ci)- SC(ci, e):	976.69
ChS1	
ChS1 (ci)	975.97
ChS1 (ciph)	885.9
ChS1-SC:	
ChS1(ci)-SC(ci, l):	1 248.8
ChS1(ci)-SC(ci, e):	948.09
ChS1(ciph)-SC(c, l):	783.835
ChS1(ciph)-SC(c, e):	680.51

Note: *VL80, ChS1 is the locomotive model (the letters in brackets indicate the type of brake shoes – cast-iron «ci» or cast-iron with a high content of phosphorus, «ciph»); TC – track test car (based on passenger car with composite brake shoes); SC – sample freight car (gondola car, letters in brackets indicate the type of brake shoes – cast-iron «ci» or composite «c» and car loading – laden «l» or empty «e»).

Table 3

Weight and total braking effort of locomotives and cars [7, 13]

Type of rolling stock	Estimated weight, t	Total braking effort, tf
Locomotive:		
- VL80	184	112
- ChS1	84	56
Track test car	56	40
Sample car:		
empty	22	14
loaded	88	28

Table 4

Stopping distance of a sample car by the method of «sequential braking»

Tractive connection	Stopping distance of a sample car by the method [8], m	Calculated stopping distance of a sample car, m	Discrepancy of the stopping distance value by the method, %
1	2	3	4
VL80-SC:			
VL80(ci)-SC(ci, l):	1 806.9	1 804.8	0.12
VL80(ci)-SC(ci, e):	839.5	839.69	0.02
VL80(ciph)-SC(c, l):	689.5	694.4	0.705
VL80(ciph)-SC(c, e):	327.7	329.84	0.6
VL80-TC-SC			
VL80(ci)-TC(ci)-SC(ci, e)	1806.9	1809.9	0.16
VL80(ci)-TC(ci)-SC(ci, l)	839.5	832.85	0.79
ChS1-SC			
ChS1(ci)-SC(ci, l)	1 806.9	1 806.9	0
ChS1(ci)-SC(ci, e)	839.5	839.6	0.01
ChS1(ciph)-SC(c, l)	689.5	695.35	0.84
ChS1(ciph)-SC(c, e)	327.7	330.0	0.81

The discrepancy between the stopping distance of a sample car by the method of «sequential braking» and the stopping distance value by the typical method does not exceed 0.84%, so I think the method accuracy is sufficient.

Every testing implies the measurement error. Evaluation of the error impact on the final results is shown in Table 5. The error was introduced into the original data and then increased. The evaluation was conducted during the simulation of 100 braking operations.

The error reduction at the input from 1% to 0.5% will result in double decreased error at the output (stopping distance of the car).

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Table 5

Effect of tractive connection stopping distance measurement error on the car stopping distance

Tractive connection	Error ratio of stopping distance of a single car with a relative error of tractive connection 1%
VL80-SC:	
VL80(ci)-SC(ci, l):	7
VL80(ci)-SC(ci, e):	10
VL80(ciph)-SC(c, l):	3.3
VL80(ciph)-SC(c, e):	5.8
VL80-TC-SC	
VL80(ci)-TC(ci)-SC(ci, e)	7.9
VL80(ci)-TC(ci)-SC(ci, l)	19.7
ChS1-SC	
ChS1(ci)-SC(ci, l):	5.7
ChS1(ci)-SC(ci, e):	3.9
ChS1(ciph)-SC(c, l):	3.27
ChS1(ciph)-SC(c, e):	2.15

Findings

1) The relative error of car stopping distances value, with relative error of basic data 1%, made 3.3-19.7% (depending on the tractive connection variant);

2) The proposed ways of error reduction (without track test car, less-weighted-locomotive use) allowed declining the error to 2.15-5.7%.

Originality and practical value

The methodology of error estimation of car stopping distances determination under tests by the method of sequential braking was proposed. Work results make it possible to replace the running brake tests by the abandonment method, under which the integrity of tractive connections is broken, with safer testing by the method of sequential braking, providing the level of result accuracy of 2-5%.

Conclusions

The conducted research allows making the following conclusions:

1) An alternative to the method of «abandonment» in determining the effectiveness of the

car brakes empirically during the train testing should become the method of «sequential braking».

2) Further work should be focused on determining the ways to reduce the impact of cumulative error on the stopping distance of a sample car.

3) The proposed test method requires experimental confirmation.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Бабаєв, А. М. Принцип дії, розрахунок та основи експлуатації гальм рухомого складу залізниць / А. М. Бабаєв, Д. В. Дмитрієв. – Київ : КУЕТТ, 2007. – 176 с.
2. Блохин, Е. П. Исследование продольной нагруженности длинносоставных грузовых поездов при торможении / Е. П. Блохин, Л. В. Урсуляк, Я. Н. Романюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 38. – С. 7–16.
3. Водяников, Ю. Я. Исследования эффективности тормозных систем грузовых вагонов методом последовательных торможений / Ю. Я. Водяников, В. С. Речкалов, С. В. Мурчков // Вагонный парк. – 2010. – № 8. – С. 26–27.
4. Галай, Э. И. Тормозные системы железнодорожного транспорта. Конструкция тормозного оборудования : учеб. пособие / Э. И. Галай, Е. Э. Галай. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 316 с.
5. Гребенюк, П. Т. Правила тормозных расчетов / П. Т. Гребенюк // Сб. науч. тр. / ВНИИЖТ. – Москва : Интекст, 2004. – 112 с.
6. Грищенко, С. Г. Методика гальмових випробувань залізничного немоторного рухомого складу / С. Г. Грищенко, П. Ю. Крамаренко, В. П. Степанова // Заліз. трансп. України. – 2009. – № 1. – С. 12–14.
7. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України : ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015 : (зі змін. та допов. згідно з наказом №312-Ц від 07.06.2001 р.). – Київ : Транспорт України, 2002. – 145 с.
8. НБ ЖТ ЦВ 01–98. Вагоны грузовые железнодорожные. Нормы безопасности. – Москва : МПС России, 1998. – 18 с.
9. Осипов, С. И. Основы тяги поездов : учебник для студ. техникумов и колледжей ж.-д. трансп. / С. И. Осипов, С. С. Осипов. – Москва : УМК МПС России, 2000. – 592 с.
10. Типовой расчет тормоза грузовых и рефрижераторных вагонов. – Москва : МПС РФ : ВНИИЖТ, 1996. – 48 с.
11. Усовершенствование методов эффективности тормозов вагонов / А. Н. Пшинько, С. В. Мям-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- лин, В. И. Приходько [и др.] // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 7. – С. 74–78.
12. Identification of a wheel–rail adhesion coefficient from experimental data during braking tests / M. Malvezzi, L. Pugi, S. Papini [et al.] // Proc. of the Institution of Mechanical Engineers. Part F : J. of Rail and Rapid Transit. – 2012. – Vol. 227. – Iss. 2. – P. 128–139. doi: 10.1177/0954409712458490.
 13. Railway freight and passenger train brake inspection and rules : TC O 0-184. – Ottawa : Railway Association of Canada, 2013. – 20 p.
 14. Szczepaniak, C. Some problems of vehicles brakes and braking / C. Szczepaniak, J. Grabowski, A. Szosland // Vehicle System Dynamics : Intern J. of Vehicle Mechanics and Mobility. – 1988. – Vol. 17. – Suppl. 1. – P. 465–468. doi: 10.1080/00423118808969287.

О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР^{1*}, В. Ю. ШАПОШНИК^{2*}

^{1*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел +38 (056) 373 15 19, ел. пошта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

^{2*}Галузева науково-дослідна лабораторія «Вагони», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел +38 (056) 373 15 19, ел. пошта v.sh91@mail.ru, ORCID 0000-0003-4701-6491

ВИЗНАЧЕННЯ ГАЛЬМОВОГО ШЛЯХУ НЕСАМОХІДНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ МЕТОДОМ ПОСЛІДОВНИХ ГАЛЬМУВАНЬ

Мета. В роботі необхідно оцінити точність визначення гальмового шляху вагона при проведенні випробувань методом послідовних гальмувань. Метод послідовних гальмувань застосовується для експериментальної оцінки гальмового шляху вагона. На відміну від методу «кидання», коли дослідний вагон від'їжджує від зчепу та реєструється гальмовий шлях одиночного вагона з моменту відчеплення до зупинки, метод послідовних гальмувань передбачає вимірювання гальмового шляху зчепу, цілісність якого в процесі експерименту не порушується, але на різних стадіях експерименту змінюється його склад (локомотив, локомотив із вагоном-лабораторією або з дослідним вагоном). Безпосередньо виміряти гальмовий шлях дослідного вагона таким способом не вдається, доводиться обчислювати його за значеннями гальмового шляху зчепу. Це негативно позначається на точності результату, зате дозволяє підвищити рівень безпеки проведення випробувань. **Методика.** Для оцінки точності дослідники провели чисельний експеримент, який моделює обробку експериментальних значень гальмового шляху. Похибку знайшли, задаючи обурення вихідних даних (гальмові шляхи зчепів різної конфігурації) та аналізуючи викликаний цим розкид результатів (гальмового шляху одиночного вагону). **Результати.** Дослідженням доведено: 1) значення відносної похибки гальмового шляху вагона при відносній похибці вихідних даних в 1 % склало 3,3–19,7 % (залежно від варіанту формування зчепу); 2) запропоновані засоби зменшення похибки (виключення вагона-лабораторії, використання локомотива з меншою вагою) дозволили знизити її до 2,15–5,1 %. **Наукова новизна.** Авторами запропонована методика оцінки похибки визначення гальмового шляху вагона при випробуваннях методом послідовних гальмувань. **Практична значимість.** Результати роботи дозволяють замінити ходові гальмові випробування методом «кидання», при яких порушується цілісність зчепу, на більш безпечні випробування методом послідовних гальмувань, забезпечивши рівень точності результатів 2–5 %.

Ключові слова: гальмовий шлях; метод «кидання»; метод послідовних гальмувань; дослідний зчеп; похибка

А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР^{1*}, В. Ю. ШАПОШНИК^{2*}

^{1*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел +38 (056) 373 15 19, эл. почта reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180

^{2*}Отраслевая научно-исследовательская лаборатория «Вагоны», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел +38 (056) 373 15 19, эл. почта v.sh91@mail.ru, ORCID 0000-0003-4701-6491

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРМОЗНОГО ПУТИ НЕСАМОХОДНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ТОРМОЖЕНИЙ

Цель. В работе необходимо оценить точность определения тормозного пути вагона при проведении испытаний методом последовательных торможений. Метод последовательных торможений применяется для экспериментальной оценки тормозного пути вагона. В отличие от метода «бросания», когда опытный вагон отсоединяется от сцепа и регистрируется тормозной путь одиночного вагона с момента отцепки до остановки, метод последовательных торможений предусматривает измерение тормозного пути сцепа, целостность которого в процессе эксперимента не нарушается, но на разных стадиях эксперимента меняется его состав (локомотив, локомотив с вагоном-лабораторией, или с опытным вагоном). Непосредственно измерить тормозной путь опытного вагона таким способом не удается, приходится вычислять его по значениям тормозного пути сцепа. Это отрицательно сказывается на точности результата, зато позволяет повысить уровень безопасности проведения испытаний. **Методика.** Для оценки точности исследователи провели численный эксперимент, моделирующий обработку экспериментальных значений тормозного пути. Погрешности нашли, задавая возмущения исходных данных (тормозные пути сцепов различной конфигурации) и анализируя вызванный этим разброс результатов (тормозного пути одиночного вагона). **Результаты.** Исследованием доказано: 1) значение относительной погрешности тормозного пути вагона при относительной погрешности исходных данных в 1 % составило 3,3–19,7 % (в зависимости от варианта формирования сцепа); 2) предложенные способы уменьшения погрешности (исключение вагона-лаборатории, использование локомотива с меньшим весом) позволили снизить ее до 2,15–5,1 %. **Научная новизна.** Авторами предложена методика оценки погрешности определения тормозного пути вагона при испытаниях методом последовательных торможений. **Практическая значимость.** Результаты работы позволяют заменить ходовые тормозные испытания методом «бросания», при которых нарушается целостность сцепов, на более безопасные испытания методом последовательных торможений, обеспечив уровень точности результатов 2–5 %.

Ключевые слова: тормозной путь; метод «бросания»; метод последовательных торможений; опытный сцеп; погрешность

REFERENCES

1. Babaiev A.M., Dmytriiev D.V. *Pryntsyp dii, rozrakhunok ta osnovy ekspluatatsii halm rukhomoho skladu zaliznyts* [Principle of action, calculation and the basis of brakes operation in rolling stock at railways]. Kyiv, KUETT Publ., 2007. 176 p.
2. Blokhin Ye.P., Ursulyak L.V., Romanyuk Ya.N. Issledovaniye prodolnoy nagruzhennosti dlinnosostavnykh gruzovykh poyezdov pri tormozhenii [Analysing longitudinal loading of heavy trains during braking]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 7-16.
3. Vodyannikov Yu.Ya., Rechkalov V.S., Murchkov S.V. Issledovaniya effektivnosti tormoznykh sistem gruzovykh vagonov metodom posledovatelnykh tormozheniy [Efficiency research of brake systems of freight cars by method of sequential braking]. *Vagonnyy park – Car Fleet*, 2010, no. 8, pp. 26-27.
4. Galay E.I., Galay Ye.E. *Tormoznyye sistemy zheleznodorozhnogo transporta. Konstruktsiya tormoznogo oborudovaniya* [Brake railway systems. The design of the braking equipment]. Gomel, BelGUT Publ., 2010. 316.
5. Grebenyuk P.T. *Pravila tormoznykh raschetov* [Rules of braking calculations]. *Sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Proc. of All-Russian Railway Research Institute]. Moscow, Intekst Publ., 2004. 112 p.
6. Hryshchenko S.H., Kramarenko P.Yu., Stepanova V.P. Metodyka halmovykh vyprobuvan zaliznychnoho nemotornoho rukhomoho skladu [Braking tests methods of railway motor rolling stock]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2009, no. 1, pp. 12-14.
7. *Instruktsiia z ekspluatatsii halm rukhomoho skladu na zaliznytsiakh Ukrainy: TST-TSV-TSL-0015* [Operating instructions of rolling stock brake on the of railways of Ukraine: TST-TSV-TSL-0015]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2002. 145 p.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

8. NB ZHT TSV 01–98. *Vagony грузovyye zheleznodorozhnyye. Normy bezopasnosti* [NB ZHT TSV 01–98. Freight rail cars. Safety standards]. Moscow, MPS Rossii Publ., 1998. 18 p.
9. Osipov S.I., Osipov S.S. *Osnovy tyagi poyezdov* [Fundamentals of hauling operations]. Moscow, UMK MPS Rossii Publ., 2000. 592 p.
10. *Tipovoy raschet tormoza грузovykh i refrizheratornykh vagonov* [Model calculations of brakes in freight and refrigerated cars]. Moscow, MPS RF: VNIIZhT Publ., 1996. 48 p.
11. Pshinko A.N., Myamlin S.V., Prihodko V.I. Usovershenstvovaniye metodov effektivnosti tormozov vagonov [Improvement of cars brake efficiency methods]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2005, issue 7, pp. 74–78.
12. Malvezzi M., Pugi L., Papini S., Rindi A., Toni P. Identification of a wheel–rail adhesion coefficient from experimental data during braking tests. *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers. Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2012, vol. 227, issue 2, pp. 128–139. doi: 10.1177/0954409712458490.
13. Railway freight and passenger train brake inspection and rules: TC O 0-184. Ottawa, Railway Association of Canada Publ., 2013. 20 p.
14. Szczepaniak C., Grabowski J., Szosland A. Some problems of vehicles brakes and braking. *Vehicle System Dynamics: Int. Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 1988, vol. 17, suppl. 1, pp. 465–468. doi: 10.1080/00423118808969287.

Prof. S. V. Myamlin, D. Sc. (Tech.) (Ukraine); Prof. Martynov Y. E., D. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: July 15, 2015

Received: Sep. 25, 2015

UDC 629.4.017:625.1.032.84

A. O. SHVETS^{1*}, K. I. ZHELIEZNOV^{2*}, A. S. AKULOV^{3*}, O. M. ZABOLOTNYI^{4*},
YE. V. CHABANIUK^{5*}^{1*}EDSD MBCSS, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan,
Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 214 14 19, e-mail angela_shvets@ua.fm,
ORCID 0000-0002-8469-3902^{2*}EDSD MBCSS, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan,
Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (095) 545 38 87, e-mail constantinz@i.ua,
ORCID 0000-0003-3648-1769^{3*}EDSD MBCSS, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan,
Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 178 16 90, e-mail asakulov@gmail.com,
ORCID 0000-0002-6123-5431^{4*}EDSD MBCSS, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan,
Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 282 13 41, e-mail zabolotnyi@i.ua,
ORCID 0000-0003-1651-7082^{5*}EDSD MBCSS, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan,
Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 633 55 95, e-mail 457m@ukr.net,
ORCID 0000-0001-5695-5955**DETERMINATION OF THE ISSUE CONCERNING
THE LIFT RESISTANCE FACTOR OF LIGHTWEIGHT CAR**

Purpose. The analytical study of the connection between the longitudinal force, acting on the light-weight car, lateral and vertical forces of interaction in the contact zone «wheel – rail» with the lift resistance factor value is to provide a simple relationships between them. **Methodology.** Research was conducted by the method of mathematical modeling of loading the freight car when driving at different speeds on straight and curved sections of a track. **Findings.** Even in the absence of «lift» accordingly the classical train stability theory, as the hinge-rod system, the presence of the longitudinal compressive forces may become a factor provoking cars derailment. The main reason of wheel climbing on rails is the combination of processes of dynamic interaction between the hunting vehicle and the track with simultaneous action of longitudinal compressive forces, and not the destabilization of train as a hinged-rod system. To assess the impact of the longitudinal forces value on the lift resistance factor there are presented the calculation results for the empty gondola car motion, model No. 12-532, on 250 m radius curve with 150 mm rise and cross starting of car underframe relating to the track axis in 50 mm guiding section. The calculations were made in such a curve excluding the inertial forces from outstanding acceleration and taking into account the unbalanced acceleration with the permissible speed of 65 km/h. **Originality.** This study provides the technique of determining the lift resistance factor by longitudinal forces, which is somewhat different from the standard one, as well as evaluates impact of rolling stock speed on this factor. **Practical value.** The authors clarify the current method of determining the lift resistance factor by longitudinal forces and assess the impact of rolling stock speed on the value of this factor. From these studies one can conclude that because of cars hunting their lift is possible even when the train as hinge-rod system does not lose stability. The developed proposals allow reducing the number of car derailment by taking into account important parameters and characteristics during the process of calculation and design that increase their stability in the rail track especially in case of increased speed of freight trains.

Keywords: traffic safety; rules for the calculation; car lift resistance factor; movement speed; lift resistance factor

Introduction

Traffic safety is a basic condition for normal operation of the railways. Problems of traffic safety of trains and shunting operations are the main ones for the rail transport since it is hard to completely avoid crashes and accidents occurring due to car derailment [9].

The main causes of accidents in locomotive economy of railways of Ukraine are a combination of car malfunctions and track condition, as well as foot-plate staff's actions leading to violations of train driving modes.

The traffic accident analysis of the locomotive facilities of Ukrainian railways for the period of

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

2008 – 2010 (Fig. 1) shows that most of accidents are caused by the actions of foot-plate staff (Fig. 1a) and freight traffic – freight electric locomotives and diesel locomotives (Fig. 1 b) [1, 16, 20].

Since the driving of freight trains results in quite large longitudinal forces acting on cars, it becomes important to conduct the research aimed at identifying the causes of the situations in which the cars might be lifted.

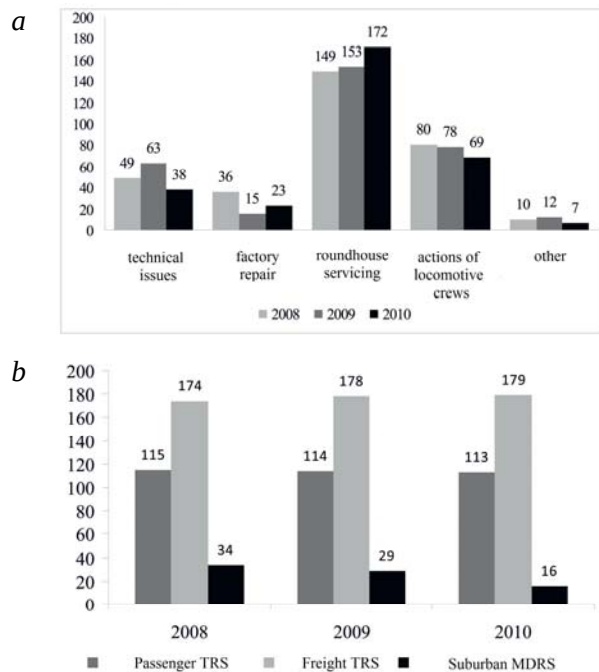


Fig. 1. The histogram of traffic accidents caused by locomotive facilities of Ukrainian railways: a – causes of transport accidents; b – transport accidents by type of rolling stock and traction

Increased safety of freight car traffic is one of the priorities of the Ukrainian railways and it represents a set of measures aimed at reducing the likelihood of threat to life and health of passengers, transported goods, as well as at the safety of infrastructure and rolling stock of the railway transport, environmental safety.

For effective training of specialists in such a complex area as railway transport currently the simulator complexes are widely used [10]. The simulator is usually used for developing practical skills, bringing them to automatism, especially for modelling abnormal and emergency situations. It is important for a simulator to have a high-quality mathematical model describing the longitudinal

dynamic processes in train and able to assess the lift resistance of each car, since any discrepancy in the actual situation involves inadequate response of a locomotive driver when emergency situations occur in real life [15, 21].

Purpose

To ensure the stability the limit values for certain indicators are set. These indicators determine the conditions of rail top wheeling-in. One of such conditions is the ratio of lateral and vertical forces acting on the wheel. However, if the above indicators exceed the permissible limits, it does not mean that derailment will take place; it is the necessary but not sufficient condition for the wheel running off the rails [12].

When designing the new and upgrading the existing freight cars one of the mandatory conditions, which determines their suitability for use, is the fulfilment of conditions for ensuring the car resistance factor against the lift caused by longitudinal forces in the train.

The purpose of the analytical study of the relationship between the longitudinal force acting on the lightweight car, lateral and vertical forces acting in the contact area of the wheel flange and the rail with the lift resistance factor value is to provide simple functional connections between them.

Methodology

Wheel stability against re-railing is determined by two main factors: the ratio of the lateral interaction force to the vertical load on a wheel and by the angle of rail top side edge wheeling-in, which depend on dynamic processes of vehicle movement in the rail track and the longitudinal forces acting on the car in train.

As a result of the use of certain driving modes the train can evoke large longitudinal dynamic forces both tensile and compressive ones. The effect of the action of the longitudinal forces is defined by their direction and car position relative to the neighbouring vehicles in coupling [2, 3, 7, 8]. When placing the cars at an angle to each other in the plan, the transverse horizontal components of the longitudinal forces appear; and in case of difference in height of their automatic couplings – vertical components, which create additional loading or off-loading of the respective wheels of the

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

vehicle [3, 6, 13]. This has an effect on the value of the lateral and vertical interaction forces, defining the conditions necessary for rail top wheeling-in [23, 24, 25].

Since the set of the cars with central automatic couplings of shock-traction action is a multilink hinge-rod circuit, the instability of equilibrium of this mechanism depends on the location and characteristics of the horizontal and vertical components of the longitudinal forces [3]. The force, by analogy with Euler static problem, corresponding to hinge-rod circuit buckling moment, is called buckling (Fig. 2). The calculated buckling forces for freight cars occur the least ones when skewing according to the diagram (a). Consequently, the cars coaxially arranged on a straight track section would not be out of alignment under the action of compressive forces lower than the buckling one [2, 3]. In fact, due to the meandering motion of vehicles, track gaps, spring, axle and centre plate arrangements, and for other reasons the cars almost always have some oblique settings relating to each other [2, 3, 6, 13].

Despite the fact that the theoretical studies found that, when the compressive force value is lower than the buckling value, the car lift should not occur due to the stability loss of the train as a hinged-rod system, the practice shows that the train derailments occur even at lower values of the longitudinal forces. This is particularly evident for the trains with empty cars, which are characterized

by intense hunting in the operational speed range. Therefore, apart from the train longitudinal stability as a hinged-rod system, for the speeds above the critical speed of hunting, in the presence of the longitudinal compressive forces one must consider longitudinal and transverse stability of the motion of the train cars [18, 19].

It should be noted that the presence of longitudinal forces not only leads to an increased hunting, but also helps to reduce the vertical loads in the wheel-rail system, that is to reduce the forces that prevent rail top wheeling-in, as well as to a greater turn of carriages with increased angle of rail wheeling-in. In such situations, the rail top wheeling-in resistance is seen not as a direct result of the high value of the longitudinal force, but as a result of intense vibrations of the hunting vehicle. This is particularly evident in the area of transition curves, characterized by additional perturbations of impact nature [2, 3, 6-8].

Let's consider the car motion in a curve, where there are different on both sides of the car cant angles of rigid rods (bodies) to the track plane φ_1 and φ_2 , the angles of coupling rotation with respect to the track axis ψ_1 and ψ_2 , and the car rotation within the gap in the track at an angle ψ . Herewith the car is set in the track under the diagram (a) – «herring-bone» and is subjected to the action of longitudinal compressive forces. We introduce a number of assumptions, simplifying the problem [6].

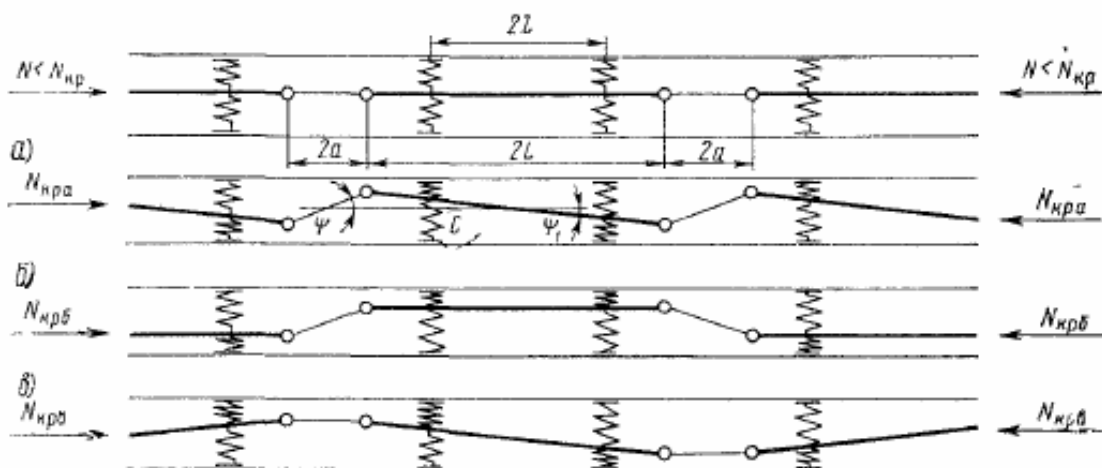


Fig. 2. Design diagram of the train and oblique settings of its elements in the plan under the action of longitudinal compressive forces

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

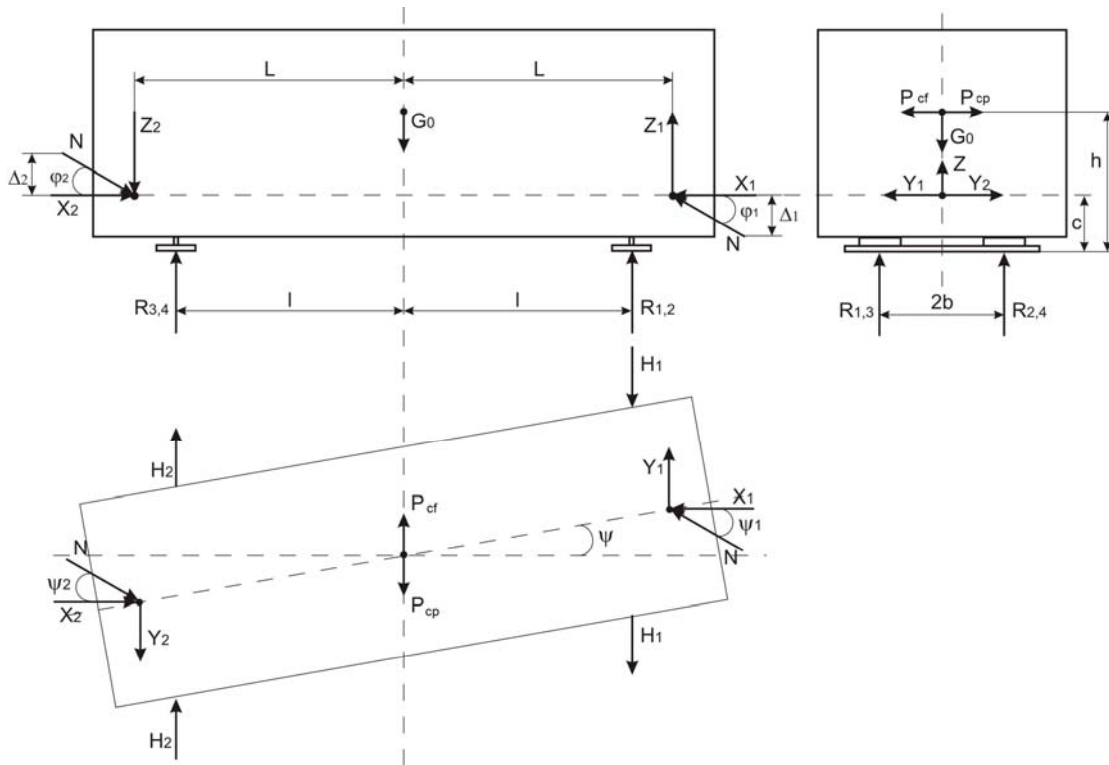


Fig. 3. The forces acting on the car

Fig. 3, all the forces acting on the car are designed on the track plane, as well as the planes perpendicular to it – the longitudinal, relative to the track, and the cross axis.

Where G_0 – weight of the car body, kN; P_{cf} – centrifugal force, kN;

$$P_{cf} = \frac{G_0 \cdot V^2}{g \cdot R}, \quad (1)$$

P_{cp} – centripetal force, kN;

$$P_{cp} = G_0 \cdot \alpha, \quad (2)$$

α – track inclination angle towards the horizontal, rad; N_1 and N_2 – longitudinal forces acting in a car coupler, kN; Z_1 and Z_2 – vertical components of the longitudinal force, kN;

$$Z_1 = N \cdot \varphi_1, \quad \varphi_1 = \frac{\Delta_1}{2a}; \quad (3)$$

$$Z_2 = N \cdot \varphi_2, \quad \varphi_2 = \frac{\Delta_2}{2a}; \quad (4)$$

$2a$ – the distance between the centres of the cotter hole of automatic coupling, m; Δ_1 – axle level difference of automatic couplings in front of the car,

m ; Δ_2 – axle level difference of automatic couplings behind the car, m;

$$Y_1 = N \cdot \psi_1, \quad Y_2 = N \cdot \psi_2; \quad (5)$$

Y_1 and Y_2 – horizontal lateral components of the longitudinal force, kN;

Since the angles φ_1 and φ_2 , ψ_1 and ψ_2 are rather small, then:

$$X_1 = X_2 = N. \quad (6)$$

X_1 and X_2 – horizontal longitudinal components of the longitudinal force, kN.

Assuming that the turning angles of all cars in a curve are equal, we find:

$$\psi = \frac{\delta_0}{2 \cdot \ell}, \quad (7)$$

$$\psi_1 = \frac{\delta_0 \cdot L}{2a \cdot \ell} + \frac{L_c}{R}, \quad (8)$$

$$\psi_2 = \frac{\delta_0 \cdot L}{2a \cdot \ell} - \frac{L_c}{R}; \quad (9)$$

In view of the elastic transverse deformation of the bogie spring sets the formulas (7, 8, 9) take the following form:

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$\psi = \frac{\delta_0}{2 \cdot \ell} + \frac{N}{4 \ell \cdot C_r} \times \left[\frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) + \frac{2L_c}{R} \right], \quad (10)$$

$$\psi_1 = \frac{\delta_0 \cdot L}{2a \cdot \ell} + \frac{N}{4C_r} \times \left[\frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) + \frac{2L_c}{R} \right] \cdot \frac{L}{a\ell} + \frac{L_c}{R}, \quad (11)$$

$$\psi_2 = \frac{\delta_0 \cdot L}{2a \cdot \ell} + \frac{N}{4C_r} \times \left[\frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) + \frac{2L_c}{R} \right] \cdot \frac{L}{a\ell} - \frac{L_c}{R}; \quad (12)$$

where $2L_c$ – car coupled length, m; 2ℓ – truck-centre spacing, m; R – curve radius, m; $2\delta_0$ – total cross-run play of the car body frame relative to the track axis in the run section, m; L – horizontal distance from the car axis to the cotter hole centre of automatic coupling, m; a – coupler casting length (from the axis of coupling to the end of the shank), m; C_h – horizontal stiffness of the spring suspension of a bogie, kN/m.

The vertical components of support reactions are indicated in Fig. 3 as R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , the horizontal components of the reactions belonging to the same bogie are taken equal to each other (the

assumption is made about the equality of the horizontal lateral stiffness of spring group on one bogie) and denoted H_1 and H_2 .

Having formed the equations of equilibrium and compatibility of vertical displacements (vertical stiffness of all the spring sets are equal, and the car frame is absolutely rigid), we determine the reactions of the supports:

$$\varphi_3 = \varphi_1 \cdot \left(\frac{L}{\ell} + 1 \right) + \varphi_2 \cdot \left(\frac{L}{\ell} - 1 \right), \quad (13)$$

$$R_1 = \frac{G_0}{4} - \frac{N}{4} \cdot \varphi_3 + \frac{N}{4} \times \frac{c}{b} \cdot (\psi_1 - \psi_2) + \frac{G_0}{4} \cdot \frac{h}{gb} \cdot a_{un}, \quad (14)$$

$$R_2 = \frac{G_0}{4} - \frac{N}{4} \cdot \varphi_3 - \frac{N}{4} \times \frac{c}{b} \cdot (\psi_1 - \psi_2) - \frac{G_0}{4} \cdot \frac{h}{gb} \cdot a_{un}, \quad (15)$$

$$H_1 = N/4 \times \left(\varphi_1 \cdot \left(\frac{L}{\ell} + 1 \right) + \varphi_2 \cdot \left(\frac{L}{\ell} - 1 \right) + 2\varphi \cdot \frac{L}{\ell} \right) + \frac{G_0}{2g} \cdot a_{un}. \quad (16)$$

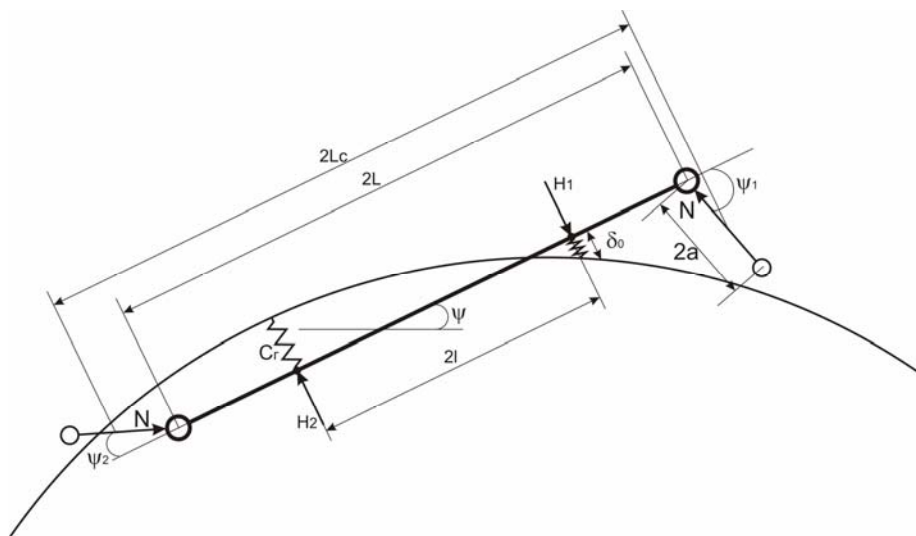


Fig. 4. Car layout on a curved track section under the action of longitudinal compressive forces

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Where $2b$ – distance between the points of application of the vertical forces acting on the journal box of the wheel pair on the climbing and non-climbing wheel respectively, kN; h – height of the car body centre of gravity over the bolster supporting plane, m; c – vertical distance from the top plane of the central spring set to the coupling axis level, m; a_{un} – unbalanced acceleration, m/s^2 ; g – gravity acceleration, m/s^2 .

Having considered the balance of non-sprig part of the bogie, we can find vertical P_1 , P_2 and the horizontal force H_f acting on the wheel pair:

$$P_1 = \frac{G_1}{4} + \frac{R_1}{2}, \quad (17)$$

$$P_2 = \frac{G_1}{4} + \frac{R_2}{2}, \quad (18)$$

$$H_f = H_1 + \frac{G_1}{2g} \cdot a_{un}. \quad (19)$$

Having considered the balance conditions of a single wheel pair, we get [6, 22]:

$$\begin{cases} \sum Z = P_1 + P_2 + G_{wp} - N_2 - P_{car} = 0 \\ \sum M = N_2 \cdot 2S - G_{wp} \cdot S + P_1 \cdot b_1 - \\ - P_2 \cdot b_2 + H_f \cdot h_{hs} = 0 \\ \sum Y = P_f - H_f - \mu \cdot N_2 = 0 \end{cases} \quad (20)$$

Where h_{hs} – height from the rail level to the top plane of the central spring set, m; G_{wp} – weight of the wheel pair, kN; H_f – frame force acting on the wheel pair, kN; μ – coefficient of flange friction against the rail top fillet.

Solving the system of linear equations we determine the vertical and lateral cross reactions of rail to the climbing wheel:

$$P_{car} = \frac{G_0}{8} + \frac{G_{bg}}{4} + \frac{N}{8} \cdot \left[(\psi_1 - \psi_2) \cdot \frac{h_a}{S} - (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot \frac{L \cdot b}{\ell \cdot S} - (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot \frac{b}{S} + (\psi_1 + \psi_2 + 2\psi) \cdot \frac{L \cdot h_{hs}}{\ell \cdot S} \right], \quad (21)$$

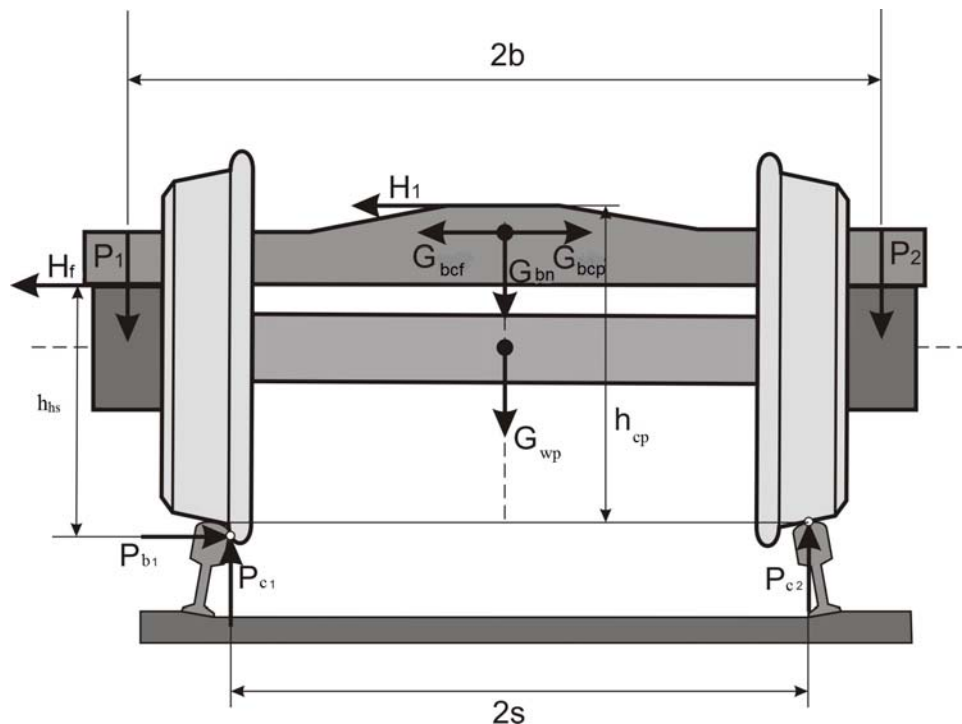


Fig. 5. Calculation diagram of forces acting on the bogie as a result of longitudinal compression

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$P_b = \mu \cdot \left(\frac{G_0}{8} + \frac{G_{bg}}{4} \right) + \frac{N}{8} \cdot \left[(\psi_1 - \psi_2) \cdot \left(2 - \mu \cdot \frac{h_a}{S} \right) - \mu \cdot (\varphi_1 + \varphi_2) \cdot \frac{L \cdot b}{\ell \cdot S} + \mu \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot \frac{b}{S} + \right. \\ \left. + (\psi_1 + \psi_2 + 2\psi) \cdot \frac{L}{\ell} \cdot \left(2 - \mu \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right) \right], \quad (22)$$

$$K_{yb}^I = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu \cdot tg\beta} \times \\ \times \frac{P_{car} + N \cdot \left[\Delta\psi \cdot \frac{h_a}{S} - \frac{b}{S} \left[(\varphi_1 + \varphi_2) \cdot \frac{L}{\ell} + \Delta\varphi \right] + (\psi_1 + \psi_2 + 2\psi) \cdot \frac{L \cdot h_{hs}}{\ell \cdot S} \right]}{\mu \cdot P_{car} + N \cdot \left[\Delta\psi \cdot \left(2 - \mu \cdot \frac{h_a}{S} \right) + \mu \cdot \frac{b}{S} \left[(\varphi_1 + \varphi_2) \cdot \frac{L}{\ell} + \Delta\varphi \right] + (\psi_1 + \psi_2 + 2\psi) \cdot \frac{L}{\ell} \cdot \left(2 - \mu \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right) \right]} \quad (23)$$

Where $P_{car} = G_0 + 2G_b$ – car weight, kN;
 $\Delta\psi = \psi_1 - \psi_2$ – difference between the swivel an-
gles of couplings against the track axis in front of
and behind the car, rad.

If it is necessary to take into account inertia

forces in the curve, the vertical (21) and the lateral (22) reactions of the rail on the climbing wheel are added to the inertia forces caused by unbalanced acceleration:

$$K_{yb}^I = tg\beta - \mu / 1 + \mu \cdot tg\beta \cdot P_b + P_{in} \cdot \frac{h_{cl}}{S} / P_0 + P_{in} \cdot (2 - \mu \cdot h_{cl} / S), \quad (24)$$

$$P_{in} = (G_0 + 2 \cdot G_{bg}) \cdot \frac{a_{un}}{g} = P_{car} \cdot \frac{a_{un}}{g}. \quad (25)$$

Using analytical expressions for determining
angles (10, 11, 12), we write the obtained depend-

ences for the vertical (21) and the lateral (22) reac-
tions of the rail on the climbing wheel as follows:

$$P_b = P_{car}^{st} + \frac{N^2}{C_r} \cdot \left[\frac{\psi_a^2 \cdot h_{hs}}{2\delta_0 \cdot S} + \frac{\psi_{cur} \cdot L}{a \cdot \ell} \left(\frac{h_a}{S} + \frac{a}{\ell} \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right) \right] + N \cdot \left[2\psi_{cur} \cdot \frac{h_a}{S} + \psi_a \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right], \quad (26)$$

$$P_b = \mu \cdot P_{car}^{st} + \frac{N^2}{C_r} \cdot \left[\frac{\psi_a^2}{2\delta_0} \cdot \left(2 - \mu \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right) + \frac{\psi_{cur} \cdot L}{a \cdot \ell} \left(2 \cdot \left(1 + \frac{a}{\ell} \right) - \mu \cdot \left(\frac{h_a}{S} + \frac{a}{\ell} \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right) \right) \right] + \\ + N \cdot \left[2\psi_{cur} \cdot \left(2 - \mu \cdot \frac{h_a}{S} \right) + \psi_a \cdot \left(2 - \mu \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right) \right]. \quad (27)$$

Where P_{car}^{st} – static weight of car in view of
unloading by longitudinal force, kN;

$$P_{car}^{st} = P_{car} - N \cdot \varphi_3, \quad (28)$$

ψ_a – rotation angle, rad;

$$\psi_a = \delta_0 \cdot L / \ell^2 \cdot (1 + L/a), \quad (29)$$

ψ_{cur} – rotation angle from the curve, rad;

$$\psi_{cur} = L_c / R. \quad (30)$$

Substituting the expressions (26) and (27) into the
formula (24) we can obtain the dependence similar to
that described in [6], excluding (31) and taking into
account the inertial forces in a curve (32). In addition,
we recall dependence for determining the longitudi-
nal forces lift resistance factor excluding (33) and
taking into account the inertial forces in a curve (34)
which has been studied in [11].

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$K_{res}^I = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu \cdot tg\beta} \cdot \frac{P_{car}^{st} + \frac{N^2}{C_h} \cdot \left[\frac{\psi_a^2 \cdot h_{hs}}{2\delta_0 \cdot S} + \frac{\psi_{cur} \cdot L}{a \cdot \ell} \left(\frac{h_a}{S} + \frac{a}{\ell} \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right) \right] + N \cdot \left[2\psi_{cur} \cdot \frac{h_a}{S} + \psi_a \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right]}{\mu \cdot P_{csr}^{st} + \frac{N^2}{C_h} \cdot \left[\frac{\psi_a^2}{2\delta_0} \cdot \left(2 - \mu \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right) + \frac{\psi_{cur} \cdot L}{a \cdot \ell} \left(2 \cdot \left(1 + \frac{a}{\ell} \right) - \mu \cdot \left(\frac{h_a}{S} + \frac{a}{\ell} \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right) \right) \right] + N \cdot \left[2\psi_{cur} \cdot \left(2 - \mu \cdot \frac{h_a}{S} \right) + \psi_a \cdot \left(2 - \mu \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right) \right]}, \quad (31)$$

$$K_{res}^I = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu \cdot tg\beta} \cdot \frac{P_{car}^{st} + \frac{N^2}{C_h} \cdot \left[\frac{\psi_a^2 \cdot h_{hs}}{2\delta_0 \cdot S} + \frac{\psi_{cur} \cdot L}{a \cdot \ell} \left(\frac{h_a}{S} + \frac{a}{\ell} \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right) \right] + N \cdot \left[2\psi_{cur} \cdot \frac{h_a}{S} + \psi_a \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right] + P_{in} \cdot \frac{h_c}{S}}{\mu \cdot P_{car}^{st} + \frac{N^2}{C_h} \cdot \left[\frac{\psi_a^2}{2\delta_0} \cdot \left(2 - \mu \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right) + \frac{\psi_{cur} \cdot L}{a \cdot \ell} \left(2 \cdot \left(1 + \frac{a}{\ell} \right) - \mu \cdot \left(\frac{h_a}{S} + \frac{a}{\ell} \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right) \right) \right] + N \cdot \left[2\psi_{cur} \cdot \left(2 - \mu \cdot \frac{h_a}{S} \right) + \psi_a \cdot \left(2 - \mu \cdot \frac{h_{hs}}{S} \right) \right] + P_{in} \cdot \left(2 - \mu \cdot \frac{h_c}{S} \right)}, \quad (32)$$

$$K_{res}^{I,II} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu \cdot tg\beta} \cdot \frac{P_T + \gamma N \cdot \left[\frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \frac{h_{cp}}{h_c} \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \right] \cdot \frac{h_c}{S}}{\mu \cdot P_T + 2\gamma N \cdot \left\{ \frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_{cp}}{2S} \right) \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_c}{2S} \right) \right\}}, \quad (33)$$

$$K_{res}^{I,II} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu \cdot tg\beta} \times \frac{P_{bg} + \gamma N \cdot \left[\frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \frac{h_{cp}}{h_{cpl}} \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \right] \cdot \frac{h_{cpl}}{S} \pm \frac{1}{2} P_{in} \cdot \frac{h_c}{S}}{\mu \cdot P_T + 2\gamma N \cdot \left\{ \frac{\delta_0 \cdot L}{\ell^2} \cdot \left(1 + \frac{L}{a} \right) \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_c}{2S} \right) \pm \alpha \cdot \frac{L_c}{R} \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_{cpl}}{2S} \right) \pm P_{in} \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{h_c}{2S} \right) \right\}}. \quad (34)$$

Where P_{car} – car weight, kN; P_{in} – car inertial force, kN; P_b – vertical load by bogie, which takes into account off-loading under the longitudinal force, kN; N – longitudinal force on automatic coupling during the car compression, kN; $2L_c$ – coupled length, m; $2L$ – car length over head stock, m; 2ℓ – truck-centre spacing, m; h_{cp} – height of the centre plate working plane above the rail top, m; h_{hs} – height of the spring set top above the rail top, m; h_{cpl} – height of the coupling axis above the rail top, m; h_c – height of the car gravity centre above the rail top, m. $2b$ – distance between the points of application of the vertical forces acting on the journal box of the wheel pair on the climbing and non-climbing wheel respectively, kN; $2S$ – distance between the taping lines, m; R – curve radius, m; $2\delta_0$ – total cross-run play of the car body frame relative to the track axis in the run section,

m; a – coupler casting length (from the axis of coupling to the end of the shank), m; μ – coefficient of flange friction against the rail top fillet; β – angle formed by the straight part of the wheel flange profile contour to the track plane; a_{un} – unbalanced acceleration, m/s^2 ; α and γ – coefficients taking into account the effect of longitudinal buckling forces, leading to a relative imbalance of cars and the coupling axes in the plan.

Findings

To assess the impact of the longitudinal forces value on the lift resistance factor Fig. 6 presents the calculation results for the empty gondola car motion, model No. 12-532, on 250 m radius curve with 150 mm rise and cross starting of car under-frame relating to the track axis in 50 mm guiding section [12]. The calculations were made in such

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

a curve excluding the inertial forces from outstanding acceleration and taking into account the unbalanced acceleration with the permissible speed of 65 km/h [14, 17].

Fig. 6 shows the calculation results for lift resistance factor of the empty car depending on the value of longitudinal forces caused by the neighbouring cars with the difference in coupling heights of 100 mm. The horizontal lines show the allowable value of the lift resistance factor (1.2 [12]) and the value of this factor (1.0), which provides the necessary condition for instability.

The diagrams in Fig. 6 show that the car speed has some significant impact on the lift resistance factor value only at small values of the longitudinal

forces, in case of which the lift is impossible. Therefore, as noted previously [3] and as follows from Fig. 6, the impact of the car speed on the longitudinal force lift resistance factor can be neglected.

Fig. 7 shows the dependence of the lift resistance factor obtained using 2 different design diagrams. The dotted line corresponds to the design diagram, which takes into account the loss of stability of the train, as the hinge-rod system [6]. The solid line – to calculation diagram, shown in Fig. 3.

This figure proves that, according to the results obtained from the formula (33), the lift resistance is not provided at the force 605 kN and by the formula (31) – even at the force 530 kN.

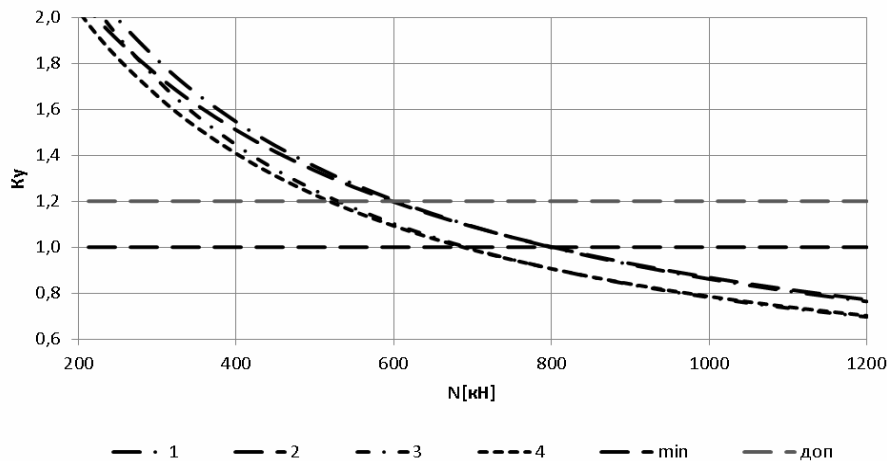


Fig. 6. Dependence diagram of lift resistance factor from longitudinal force:
1 – (33) without inertia force; 2 – (34) taking into account the inertia force by unbalanced acceleration;
3 – (31) without inertia force; 4 – (32) taking into account the inertia force by unbalanced acceleration

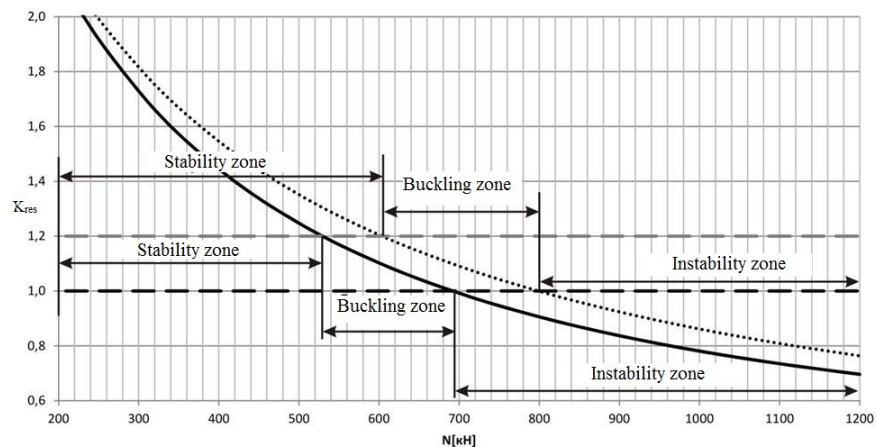


Fig. 7. Dependence diagram of lift resistance factor for different design schemes:
solid line – (31), dotted line – (33)

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

A necessary condition for the loss of stability is fulfilled, in the first case, when the value of the longitudinal force is 800 kN, in the second case – 695 kN. Thus the results obtained by the formula (31) impose more stringent requirements to ensure the car lift resistance.

As it is known, the lowest values of the lift resistance factor are peculiar to the cars with small coupled length, truck-centre spacing and unladen weight. In future, the comparative analysis is made only for this category of freight cars [4, 5]. The calculations were performed according to the dependencies (31) and (33) – excluding the inertial forces by unbalanced acceleration, and according to the dependencies (32) and (34) – taking into account the inertial forces by unbalanced acceleration when driving with permitted speed [17]. The results are summarized in Table 1–5.

Table 1

The lift resistance factors for gondolas

Formula No	Covered car types		
	12-1505	12-5326	12-2122-01
Standards [10]	1.367	1.399	1.360
Formula (31)	1.223	1.264	1.223

Table 2

The lift resistance factors for tank cars

Formula No	Tank-car types		
	15-145	15-869	15-1548
Standards [10]	1.597	1.647	1.423
Formula (31)	1.459	1.524	1.277

Table 3

The lift resistance factors for covered cars

Formula No	Covered car types		
	11-N002	11-066	10-475
Standards [10]	1.315	1.492	1.642
Formula (31)	1.17	1.357	1.513

Table 4

The lift resistance factors for hopper cars

Formula No	Hopper car types		
	11-715	19-1217	20-4078
Standards [10]	1.349	1.564	1.455
Formula (31)	1.198	1.289	1.305

Table 5

The lift resistance factors for platform

Formula No	Platform types		
	13-1796	13-1798	13-3103-01
Standards [10]	1.472	1.410	1.415
Formula (31)	1.342	1.279	1.273

The results of calculations in Tables 1–5 show that for all the above cars the values of the lift resistance factor obtained by the proposed formula (31) are smaller than the standards [12]. And for some cars the value K_{res} is lower than the permissible value.

It follows that, even in the absence of «lift» according to the classical train stability theory, as the hinge-rod system, the presence of the longitudinal compressive forces may become a factor provoking cars derailment. Thus the main reason of wheel climbing on rails is the combination of processes of dynamic interaction between the hunting vehicle and the track with simultaneous action of longitudinal compressive forces, and not the destabilization of train as a hinged-rod system.

Originality and practical value

This study provides the technique of determining the lift resistance factor by longitudinal forces, which is somewhat different from the above mentioned one [3, 6], as well as evaluates impact of rolling stock speed on this factor. The developed proposals for the refinement of existing methods for determining the resistance factor of the car lift by longitudinal force will increase the stability margin.

The research results have found their scientific use in a number of publications in the special and

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

scientific journals, presentations at scientific meetings.

Conclusions

As a result of analytical research there are obtained the dependencies of longitudinal forced lift resistance factor in the train with and without consideration of the speed of its movement. It is shown that as the value of this factor gets closer to the buckling area the influence of speed decreases.

From these studies one can conclude that because of cars hunting their lift is possible even when the train as hinge-rod system does not lose stability.

Thus, the calculation results allow an objective assessment of the effect of the longitudinal force and the freight car speed on the lift resistance factor value.

LIST OF REFERENCE LINKS:

1. Аналіз стану безпеки руху поїздів у локомотивному господарстві залізниць України за 2010 рік // Локомотив-інформ. – 2010. – № 5. – С. 14–18.
2. Вершинский, С. В. Динамика вагонов / С. В. Вершинский, В. И. Данилов, И. И. Челноков. – Москва : Транспорт, 1991. – 360 с.
3. Вершинский, С. В. Динамика, прочность и устойчивость вагонов в тяжеловесных и скоростных поездах / С. В. Вершинский // Сб. тр. / ВНИИЖТ. – Москва : Транспорт, 1970. – Вып. 425. – 208 с.
4. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР : альбом. – Москва : Транспорт. – 1982. – 111 с.
5. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР : альбом-справочник / М-во путей сообщ. СССР, Гл. упр. вагон. хоз-ва. – Москва : Транспорт. – 1989. – 175 с.
6. Лазарян, В. А. Движение легковесных вагонов в составах тяжеловесных поездов / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин, Е. Л. Стамблер / Тр. ДИИТа. – Москва : Транспорт, 1968. – Вып. 76 : Вопросы динамики подвижного состава и применения математических машин. – С. 34–46.
7. Лазарян, В. А. Динамика вагонов / В. А. Лазарян. – Москва : Транспорт, 1964. – 256 с.
8. Лазарян, В. А. Динамика транспортных средств / В. А. Лазарян. – Київ : Наукова думка, 1985. – 528 с.
9. Мямлин, С. В. Прогресс транспорта – залог развития национальной экономики / С. В. Мямлин // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 7–12. doi: 10.15802/stp2013/9786.
10. Навчальні тренажери машиністів локомотивів / А. С. Акулов, К. І. Железнов, О. М. Заболотний [та ін.] // Проблеми та перспективи розвитку залізн. трансп. : тези 74 Міжнар. науково-практ. конф. (15.05-16.05.2014) / Мін-во інфраструктури України, Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 102–103.
11. Некоторые аспекты определения устойчивости порожних вагонов от выжимания их продольными силами в грузовых поездах / А. А. Швець, К. И. Железнов, А. С. Акулов [и др.] // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 4 (58). – С. 175–189. doi: 10.15802/stp2015/49281.
12. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва : ВНИИВ : ВНИИЖТ, 1983. – 260 с.
13. О движении легковесных вагонов в составах тяжеловесных поездов : отчет о НИР : 80 / Днепропетр. ин-т инж. ж.-д. трансп. ; рук. Лазарян В. А. / Днепропетровск, 1966. – 38 с. – Исполн.: Блохин Е. П., Стамблер Е. Л. – Библиогр.: с. 38. – Инв. № 80.
14. Определение допускаемых скоростей движения грузовых вагонов по ж.-д. путям колеи 1 520 мм / В. Д. Данович, В. В. Рыбкин, С. В. Мямлин [и др.] // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2. – С. 77–86.
15. Пат. 87837 Україна. МПК G 09 B 9/04 (20.06.01/). Тренажер для навчання машиніста магістрального локомотива / Железнов К. І., Акулов А. С., Євдомах Г. В., Заболотний О. М., Чабанюк Є. В., Швець А. О. (Україна) ; заявник та патентовласник Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – № u 2013 09075 ; заявл. 19.07.2013 ; опубл. 25.02.14. Бюл. № 4. – 2 с.
16. Посмітюха, А. А. Аналіз стану безпеки руху поїздів у локомотивному господарстві залізниць України за 2008 рік / А. А. Посмітюха // Локомотив – інформ. – 2009. – № 3/4. – С. 27–30.
17. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії : ЦП 02336. – Київ : Укрзалізниця, 2013. – 44 с.
18. Продольная и поперечная динамика 2-осных автосцепных вагонов в тяжеловесных поездах и при повышенных скоростях : отчет о НИР / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т ж.-д. трансп.,

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- Днепропетр. ин-т инженеров трансп. ; рук. Вершинский С. В. – Москва, 1954. – 312 с. – Исполн.: Лазарян В. А., Львов А. А., Блохин Е. П. – № И – 05 – 54 р. 2. – Инв. № 2.
19. Продольная и поперечная динамика 2-осных вагонов в тяжеловесных поездах и при повышенных скоростях : отчет о НИР / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т ж.-д. трансп., Днепропетр. ин-т инженеров трансп. ; рук. Вершинский С. В. – Москва, 1953. – 351 с. – Исполн.: Лазарян В. А., Львов А. А., Конашенко С. И., Коротенко М. Л. – № И – 05 – 54 р. 1. – Инв. № 1.
 20. Пустовгар, В. О. Аналіз стану безпеки руху поїздів у локомотивному господарстві залізниць України за 2009 рік / В. О. Пустовгар // Локомотив-інформ. – 2010. – № 3. – С. 14–17.
 21. Свідомство про реєстрацію авторського права на твір № 54184 Україна. Комп'ютерна програма «Обучение вождению поездов машинистов магистральных локомотивов» / Железнов К. І., Акулов А. С., Євдомах Г. В., Заболотний О. М., Чабанюк Є. В., Швець А. О. (Україна) ; заявник та патентовласник Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – заявл. 20.03.2014.
 22. Шадур, Л. А. Вагоны. Конструкция, теория и расчет / Л. А. Шадур. – Москва : Транспорт, 1980. – 440 с.
 23. Anyakwo, A. A New Method for Modelling and Simulation of the Dynamic Behaviour of the Wheel-rail Contact / A. Anyakwo, C. Pislaru, A. Ball // Intern. J. of Automation and Computing. – 2012. – Vol. 9. – Iss. 3. – P. 237–247. doi: 10.1007/s11633-012-0640-6.
 24. Kurhan, D. M. Features of perception of loading elements of the railway track at high speeds of the movement / D. M. Kurhan // Наука та прогр. трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 2 (56). – С. 136–145. doi: 10.15802/stp2015/42172.
 25. Marquis, B. Application of Nadal limit in the prediction of wheel climb derailment (JRC2011-56064) / B. Marquis, R. Greif // Proc. of the ASME/ASCE/IEEE. 2011 Joint Rail Conf. (16.03.–18.03.2011). – Pueblo, Colorado, USA, 2011. – P. 1–8. doi: 10.1115/jrc2011-56064.

А. О. ШВЕЦЬ^{1*}, К. І. ЖЕЛЄЗНОВ^{2*}, А. С. АКУЛОВ^{3*}, О. М. ЗАБОЛОТНИЙ^{4*},
Є. В. ЧАБАНЮК^{5*}

^{1*}СКТБ МСУБ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 214 14 19, ел. пошта angela_shvets@ua.fm, ORCID 0000-0002-8469-3902

^{2*}СКТБ МСУБ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (095) 545 38 87, ел. пошта constantinz@i.ua, ORCID 0000-0003-3648-1769

^{3*}СКТБ МСУБ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 178 16 90, ел. пошта asakulov@gmail.com, ORCID 0000-0002-6123-5431

^{4*}СКТБ МСУБ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 282 13 41, ел. пошта zabolotnyi@i.ua, ORCID 0000-0003-1651-7082

^{5*}СКТБ МСУБ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 633 55 95, ел. пошта 457m@ukr.net, ORCID 0000-0001-5695-5955

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ СТІЙКОСТІ ВІД ВИЧАВЛЮВАННЯ ЛЕГКОВАГОВИХ ВАГОНІВ

Мета. Аналітичне дослідження зв'язку між поздовжньою силою, що діє на легковаговий вагон, бічними й вертикальними силами взаємодії в зоні контакту колеса та рейки з величиною коефіцієнта запасу стійкості від вичавлювання, передбачає отримання простих залежностей між ними. **Методика.** Дослідження проводилося методом математичного моделювання навантаженості вантажного вагона при русі з різними швидкостями по прямих та кривих ділянках шляху. **Результати.** Навіть за відсутності «вичавлювання» за класичною теорією стійкості поїзда, як шарнірно-стрижневої системи, наявність поздовжніх стискаючих сил може стати фактором, провокуючим схід вагонів. Основною причиною вповзання колеса на рейку

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

є поєднання процесів динамічної взаємодії впливання екіпажа та колії з одночасною дією поздовжніх стискаючих сил, а не порушення стійкості поїзда як шарнірно-стрижневої системи. Для оцінки впливу величини поздовжніх сил на коефіцієнт запасу стійкості від вичавлювання наведені результати розрахунків руху порожнього піввагона моделі № 12-532 по кривій радіусом 250 м з піднесенням 150 мм й поперечним розгоном рами кузова вагона щодо осі колії в направляючому перетині в 50 мм. Розрахунки проводилися в такій кривій без урахування сил інерції від непогашеного прискорення та з урахуванням непогашеного прискорення при допустимій швидкості руху, рівній 65 км/год. **Наукова новизна.** У даному дослідженні наведено методику визначення коефіцієнта запасу стійкості від вичавлювання поздовжніми силами, яка дещо відрізняється від загальноприйнятої, а також оцінюється вплив на цей коефіцієнт швидкості руху рухомого складу. **Практична значимість.** Авторами уточнюється існуюча методика визначення коефіцієнта запасу стійкості від вичавлювання поздовжніми силами, а також оцінюється вплив на величину цього коефіцієнта швидкості руху рухомого складу. З проведених досліджень випливає, що через впливання вагонів їх вижимання можливо навіть тоді, коли поїзд, як шарнірно-стрижнева система, не втрачає стійкості. Розроблені пропозиції дозволяють знизити кількість сходів вагонів із рейок за рахунок обліку при розрахунках та проектуванні важливих параметрів й характеристик, що підвищують їх стійкість в рейковій колії (особливо при збільшенні швидкостей руху вантажних поїздів).

Ключові слова: безпека руху; норми для розрахунку; стійкість вагонів від вичавлювання; швидкість руху; коефіцієнт стійкості

А. А. ШВЕЦ^{1*}, К. И. ЖЕЛЕЗНОВ^{2*}, А. С. АКУЛОВ^{3*}, А. Н. ЗАБОЛОТНЫЙ^{4*},
Е. В. ЧАБАНИЮК^{5*}

^{1*}СКТБ МСУБ, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 214 14 19, эл. почта angela_shvets@ua.fm, ORCID 0000-0002-8469-3902

^{2*}СКТБ МСУБ, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (095) 545 38 87, эл. почта constantinz@i.ua, ORCID 0000-0003-3648-1769

^{3*}СКТБ МСУБ, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 178 16 90, эл. почта asakulov@gmail.com, ORCID 0000-0002-6123-5431

^{4*}СКТБ МСУБ, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 282 13 41, эл. почта zabolotnyi@i.ua, ORCID 0000-0003-1651-7082

^{5*}СКТБ МСУБ, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 633 55 95, эл. почта 457m@ukr.net, ORCID 0000-0001-5695-5955

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ ОТ ВЫЖИМАНИЯ ЛЕГКОВЕСНЫХ ВАГОНОВ

Цель. Аналитическое исследование связи между продольной силой, действующей на легковесный вагон, боковыми и вертикальными силами взаимодействия в зоне контакта колеса и рельса с величиной коэффициента запаса устойчивости от выжимания, предполагает получение простых зависимостей между ними. **Методика.** Исследование проводилось методом математического моделирования нагруженности грузового вагона при движении с различными скоростями по прямым и кривым участкам пути. **Результаты.** Даже при отсутствии «выжимания» по классической теории устойчивости поезда, как шарнирно-стержневой системы, наличие продольных сжимающих сил может стать фактором, провоцирующим сход вагонов. Основной причиной всползания колеса на рельс является сочетание процессов динамического взаимодействия влияющего экипажа и пути с одновременным действием продольных сжимающих сил, а не нарушение устойчивости поезда как шарнирно-стержневой системы. Для оценки влияния величины продольных сил на коэффициент запаса устойчивости от выжимания приведены результаты расчетов движения порожнего полувагона модели № 12-532 по кривой радиусом 250 м с возвышением 150 мм и поперечным разбегом рамы кузова вагона относительно оси пути в направляющем сечении в 50 мм. Расчеты производились в такой кривой без учета сил инерции от непогашенного ускорения и с учетом

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

непогашеного прискорення при допустимій швидкості руху рівній 65 км/ч. **Наукова новизна.** В даному дослідженні наведено методику визначення коефіцієнта запасу стійкості до витискування продольними силами, декілька відмінююча від загальноприйнятої, а також оцінюється вплив на цей коефіцієнт швидкості руху подвижного складу. **Практична значимість.** Авторами уточнюється існуюча методику визначення коефіцієнта запасу стійкості до витискування продольними силами, а також оцінюється вплив на величину цього коефіцієнта швидкості руху подвижного складу. З проведених досліджень випливає, що з-за впливу вагонів їх витискування можливо навіть тоді, коли поїзд як шарнірно-стержнева система не втрачає стійкості. Розроблені пропозиції дозволяють знизити кількість сходів вагонів з рейок за рахунок урахування при розрахунках і проектуванні важливих параметрів і характеристик, підвищують їх стійкість в рейсовій колії (особливо при збільшенні швидкостей руху вантажних поїздів).

Ключові слова: безпека руху; норми для розрахунку; стійкість вагонів до витискування; швидкість руху; коефіцієнт стійкості

REFERENCES

1. Analiz stanu bezpeky rukhu poizdiv u lokomotyvnomu hospodarstvi zaliznyts Ukrainy za 2010 rik [Analysis of traffic safety in railway locomotive economy of Ukraine in 2010 year]. *Lokomotyv–Inform – Locomotive–Inform*, 2010, no. 5, pp. 14-18.
2. Vershinskiy S.V., Danilov V.I., Chelnokov I.I. *Dinamika vagonov* [Dynamics of cars]. Moscow, Transport Publ., 1991. 360 p.
3. Vershinskiy S.V. *Dinamika, prochnost i ustoychivost vagonov v tyazhelovesnykh i skorostnykh poyezdakh*. [Dynamics, durability and the stability of cars in heavy and high-speed trains]. *Sbornik trudov VNIIZhTa* [Proc. Of All-Russian Research Railway Institute]. Moscow, Transport Publ., 1970, issue 425, 208 p.
4. *Gruzovyye vagoni kolei 1520 mm zheleznykh dorog SSSR: albom* [Freight cars, a track of 1520 mm at railways of the USSR: The Album]. Moscow, Transport Publ., 1982. 111 p.
5. *Gruzovyye vagoni kolei 1520 mm zheleznykh dorog SSSR: albom-spravochnik* [Freight cars 1520 mm track railways of the USSR: Album Directory]. Moscow, Transport Publ., 1989. 175 p.
6. Lazaryan V.A., Blokhin Ye.P., Stambler Ye.L. *Dvizheniye legkovesnykh vagonov v sostavakh tyazhelovesnykh poyezdov. Voprosy dinamiki podvizhnogo sostava i primeneniya matematicheskikh mashin* [Movement of lightweight cars in heavy trains. The dynamics of the rolling stock and the application of mathematical machines]. *Trudy Dnepropetrovskogo instituta inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta imeni akademika V. Lazariana* [Studies of Dnepropetrovsk Institute of Railway Engineers named after Academician V. Lazaryan], 1966, issue 59, pp. 34-47.
7. Lazaryan V.A. *Dinamika vagonov* [Dynamics of cars]. Moscow, Transport Publ., 1964. 256 p.
8. Lazaryan V.A. *Dinamika transportnykh sredstv* [Dynamics of transportation facilities]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1985. 528 p.
9. Myamlin S.V. *Progress transporta – zalog razvitiya natsionalnoy ekonomiki* [Transport progress as a pledge of national economy development]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, issue 1 (43), pp. 7-12. doi: 10.15802/stp2013/9786.
10. Akulov A.S., Zheliezov K.I., Zabolotnyi A.N., Povstenko J.L., Chabanyuk E.V., Shvets A.O. *Navchalni trenazhery mashynistiv lokomotyviv* [Training simulators of locomotive drivers]. *Tezy 74 Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu» (15.05-16.05.2014)*. [Proc. of the 74rd Int. Sci. and Practical Conf. «Problems and Prospects of Railway Transport»]. Dnipropetrovsk, 2014, pp. 102-103.
11. Shvets A.A., Zheliezov K.I., Akulov A.S., Zabolotnyi A.N., Chabaniuk E.V. *Nekotoryye aspekty opredeleniya ustoychivosti porozhnykh vagonov ot vyzhimaniya ikh prodolnymi silami v gruzovykh poyezdakh* [Some aspects of the definition of empty cars stability from lift their longitudinal forces in the freight train]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, issue № 4 (58), pp. 175-189. doi: 10.15802/stp2015/49281.
12. *Normy dlya rascheta i proyektirovaniya novykh i moderniziruyemykh vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Standards for strength calculations and design of the mechanical part of the new

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- and modernized railway cars MPS, track of 1520 mm (unpowered)]. Moscow, VNIIV–VNIIZhT Publ., 1983. 260 p.
13. Lazaryan V.A., Blokhin Ye.P., Stambler Ye.L. *O dvizhenii legkovesnykh vagonov v sostavakh tyazhelovesnykh poyezdov* [About motion of lightweight cars in the heavy trains]. Dnipropetrovsk, 1966. 38 p.
 14. Danovich V.D., Rybkin V.V., Myamlin S.V., Reidemeister A.G., Tryakin A.G., Halipova N.V. *Opredeleniye dopuskayemykh skorostey dvizheniya gruzovykh vagonov po zheleznodorozhnyam putyam kolei 1520 mm* [Determining the permissible speed of freight cars on railroad tracks of 1520 mm]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 2, pp. 77–86.
 15. Zheleznov K.I., Akulov A.S., Yevdomakha H.V., Zabolotnyi O.M., Chabaniuk Ye.V., Shvets A.O. *Trenazher dlia navchannia mashynista mahistralnoho lokomotyva* [Simulator for driver training of the main locomotive]. Patent UA, no. u 2013 09075, 2014.
 16. Posmitiukha A.A. *Analiz stanu bezpeky rukhu poizdiv u lokomotyvnomu hospodarstvi zaliznyts Ukrainy za 2008 rik* [Analysis of traffic safety in railway locomotive economy of Ukraine in 2008]. *Lokomotiv–Inform – Locomotive–Inform*, 2009, no. 3/4, pp. 27–30.
 17. *Pravyla vyznachennia pidvyshchennia zovnishnoi reiky i vstanovlennia dopustymykh shvydkostei v kryvykh dilianakh kolii. TsP 02336* [The rules for superelevation determining of an outer rod and permissible speeds in curved sections of the track. TsP 02 336]. Kyiv, Ukrzaliznytsia Publ., 2013. 44 p.
 18. Vershinskiy S.V., Lazaryan V.A., Lvov A.A., Blokhin Ye. P. *Prodolnaya i poperechnaya dinamika 2-osnykh avtostsepykh vagonov v tyazhelovesnykh poyezdakh i pri povyshennykh skorostyakh* [Longitudinal and perpendicular dynamics of two axle automatic coupling cars in heavy trains and at the high speeds]. Moscow, VNIIZhT Publ., 1954. 312 p. No. I–05–54.
 19. Vershinskiy S.V., Lazaryan V.A., Lvov A.A., Konashenko S.I., Korotenko M.L. *Prodolnaya i poperechnaya dinamika 2-osnykh avtostsepykh vagonov v tyazhelovesnykh poyezdakh i pri povyshennykh skorostyakh* [Longitudinal and perpendicular dynamics of two axle automatic coupling cars in heavy trains and at the high speeds]. Moscow, VNIIZhT Publ., 1953. 351 p. No. I–05–54.
 20. Pustovhar V.A. *Analiz stanu bezpeky rukhu poizdiv u lokomotyvnomu hospodarstvi zaliznyts Ukrainy za 2009 rik* [Analysis of traffic safety in railway locomotive economy of Ukraine in 2009]. *Lokomotyv–inform – Locomotive–Inform*, 2010, no. 3, pp. 14–17.
 21. Zheleznov K. I., Akulov A. S., Yevdomakha H. V., Zabolotnyi O. M., Chabaniuk Ye. V., Shvets A. O. *Kompiuterna prohrama «Obuchenije vozhdenuyu poyezdov mashinistov magistralnykh lokomotivov»* [Computer program «Learning to drive trains of drivers in mainline locomotives»]. Certificate UA, no. 54184, 2014.
 22. Shadur L.A. *Vagony. Konstruktsiya, teoriya i raschet* [Cars. Design, theory and calculation]. Moscow, Transport Publ., 1980. 440 p.
 23. Anyakwo A., Pislaru C., Ball A. New Method for Modelling and Simulation of the Dynamic Behaviour of the Wheel-rail Contact. *Intern. Journal of Automation and Computing*, 2012, vol. 9, issue 3, pp. 237–247. doi: 10.1007/s11633-012-0640-6.
 24. Kurhan D.M. Features of perception of loading elements of the railway track at high speeds of the movement. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, issue 2 (56), pp. 136–145. doi: 10.15802/stp2015/42172.
 25. Marquis B., Greif R. Application of Nadal limit in the prediction of wheel climb derailment (JRC2011-56064). *Proc. of the ASME/ASCE/IEEE. 2011 Joint Rail Conf.* (16.03.–18.03.2011). Pueblo, Colorado, USA, 2011. pp. 1–8. doi: 10.1115/jrc2011-56064.

Prof. S. V. Miamlyn, D. Sc. (Tech.), (Ukraine); Senior Associate M. M. Khachapurydze, PhD (Tech.), (Ukraine); Senior Associate M. O. Radchenko, PhD (Tech.), (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Aug. 21, 2015

Accepted: Oct. 20, 2015

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 691.3:625.142.42

В. В. КОВАЛЕНКО^{1*}, Ю. Л. ЗАЯЦЬ^{2*}, П. О. ПШІНЬКО^{3*}

^{1*}Каф. «Управління проектами, будівлі та будівельні матеріали», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 489 07 72, ел. пошта valusha.kov@yandex.ua, ORCID 0000-0002-1196-7730

^{2*}Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 81, ел. пошта zyl41@mail.ru, ORCID 0000-0002-9213-1790

^{3*}Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (095) 742 04 34, ел. пошта mostoproekt@yandex.ua, ORCID 0000-0003-4187-5340

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ПЕРЕДЧАСНОГО РУЙНУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ НА ЗНАМ'ЯНСЬКІЙ ДИСТАНЦІЇ КОЛІЇ ПЧ 10 ОДЕСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ

Мета. Наукова робота має за мету дослідження факторів, які призвели до передчасного руйнування бетону залізничних шпал. **Методика.** В роботі застосована експрес-методика визначення морфології та хімічного складу структурних складових бетону, що запатентована Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту. Методика дає можливість оперативно контролювати морфологію та хімічний склад кристалів цементного каменю, як найбільш слабкої ланки в структурі композитного матеріалу–бетону. А також прогнозувати, у відповідності з рекомендаціями німецьких вчених, ймовірність структурних перетворень цементного каменю в твердому стані, що визначає довговічність цього композитного матеріалу. **Результати.** Масові руйнування залізобетонних шпал на залізницях України частішають із кожним роком. Причому, якщо такі руйнування в 2010 році виявляли після 4–5 років експлуатації, то в 2015 році – тільки після 2–3 років установки шпал на магістральних залізничних коліях. За характером руйнувань бетону шпал можна відзначити багатофакторність впливів на нього. Партії цементу та інших сировинних матеріалів перед використанням були досліджені стандартними методами в акредитованій лабораторії ПАТ «Укр-геолбудм» (Київ) і отримали позитивні оцінки для використання у виробництві залізобетонних шпал. Однак, значна помилка в експериментальних даних за стандартними методиками не дозволила виявити критичні характеристики матеріалів, які згубно впливають на довговічність бетону підрейкових основ. За результатами досліджень було встановлено, що причинами масового передчасного руйнування шпал є: 1) неоднорідність макроструктури бетону, як наслідку застосування щебеню фракції 5–25 мм; 2) вплив агресивного середовища на бетонну поверхню шпал; 3) наявність у структурі середньої частини шпал крупних стрингітних кристалів, схильних до реструктуризації, та присутність продуктів лужнокремнієвокислої реакції навколо аморфних або тих, що містять аморфний кремнезем, пісочних часток; 4) перевищення нормативного коефіцієнту приведеної лужності щільної та пористої складових цементного каменя відповідно у 3,6 та у 3,2 рази; 5) насиченість поверхні пісочних часток атомами хлору, які додатково пришвидшують та ініціюють лужнокремнієвокислу реакцію. **Наукова новизна.** Дослідниками вперше була застосована запатентована авторська експрес-методика дослідження морфології та хімічного складу структурних складових бетону. **Практична значимість.** Застосування пропонованої методики дослідження сировинних матеріалів та

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

структури бетону в виробничому циклі підприємств дасть змогу запобігти передчасному руйнуванню бетону внаслідок дії внутрішніх факторів.

Ключові слова: залізобетонні шпали; бетон; щебінь; пісок; цемент; лужнокремнієвокисла реакція; мікроструктура; цементний камінь

Вступ

Масові руйнування залізобетонних шпал на залізницях України частішають з кожним роком. Причому, якщо такі руйнування в 2010 році виявляли після 4–5 років експлуатації, то в 2015 році тільки після 2–3 років установки шпал на магістральних залізничних коліях. За характером руйнувань бетону шпал можна зробити висновок про багатофакторності впливів на нього. Довговічність бетону і структура цементного каменю є об'єктом дослідження багатьох закордонних та вітчизняних авторів, а саме: S. W. Tang, Y. Yao, C. Andrade, Z. J. Li, Scrivener K. L., Пшінько О. М., Плугін А. А., Саницький М. А. та ін. [1–3, 8–13, 15–24].

Залізобетонні шпали, як основні елементи верхньої будови колії, витримують значні динамічні навантаження в корозійно-активному середовищі у комплексі з впливом потоку вихрового електричного струму та температурними коливаннями близько 0°C у міжсезонний період. Такі складні умови експлуатації вимагають суворої технологічної дисципліни під час виготовлення та використання шпал.

Партії цементу та інших сировинних матеріалів перед використанням їх заводами були досліджені стандартними методами в акредитованій лабораторії ПАТ «Укргеолбудм», м. Київ і отримали позитивні оцінки для використання у виробництві залізобетонних шпал. Однак, значна помилка в експериментальних даних за стандартними методиками не дозволила виявити критичні характеристики матеріалів, які згубно впливають на довговічність бетону під рейкових основ.

Об'єктом дослідження в цій роботі були зразки передчасно зруйнованих залізобетонних шпал виробництва одного з українських заводів у кількості 34 шт., що не відслужили трирічний термін і більшість з яких розсипалися на частки розміром з фракції дрібного заповнювача бетону з оголенням короюваної арматури.

На ділянці 314 км ПК8-324 км ПК1 перегону Чорноліська–Трепівка Знам'янській дистанції колії виконана модернізація колії в довго-

тривалі «вікна» в період від 26.03 до 04.04.2012 року з укладанням рейко-шпальної решітки на залізобетонних шпалах типу ШП1-3 зі скріпленням типу КБ. Дана ділянка колії експлуатується з довгими плітями довжиною в перегін, які закріплені при температурі + 32 °С, уgonу колії немає, плече баластної призми достатнє. З квітня 2012 року (дата встановлення шпал на магістральну дільницю) по квітень 2015 року ці кілометри оцінювали на «відмінно».

Аналіз пошкоджених та зруйнованих шпал на даній ділянці у кількості близько 1896 одиниць показав, що шпали були вкриті сіткою мілких тріщин, через які інтенсивно всмоктуються атмосферні осадки та підґрунтові води. Такі шпали проблематично перенесуть міжсезонні коливання температур з підвищеною вологістю повітря та ґрунту та зруйнуються протягом 1–2 років. Необхідно відмітити, що повного руйнування протягом трьох років зазнали лише 1,8 % загальної кількості пошкоджених шпал.

Проблемою для безпечної експлуатації залізобетонних шпал є наявність вільних кислот у стічних водах промислових підприємств, які попадають у ґрунтові води та атмосферні осадки під час атмосферних викидів сірчаних газів, хлору та хлористого водню. Для вітчизняних залізниць характерно використання пасажирського вагонного парку з туалетами, під час користування якими продукти випорожнень викидають та виливають разом з дезінфікуючими та миючими засобами з вмістом хлору безпосередньо на колію. Органічні кислоти, як і неорганічні, швидко руйнують цементний камінь. Велика агресивність є у оцтової, молочної та винної кислот. Жирні насичені і ненасичені кислоти (олеїнова, стеаринова, пальмітинова та інші) руйнують цементний камінь, оскільки при взаємодії з гідрооксидом кальцію вони обмилуються. Крім того, шкідливі і масла, що містять кислоти жирного ряду: льняне, бавовняне, а також риб'ячий жир. Нафта та нафтові продукти (керосин, бензин, мазут, нафтові масла) не несуть небезпеки, якщо вони не містять наф-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

тових кислот та з'єднань сірки. Однак, необхідно враховувати, що нафтопродукти легко проникають крізь бетон. Продукти розгону кам'яновугільного дьогтю, що містять фенол, можуть агресивно впливати на бетон.

Виявлені і класифіковані дефекти, які значно знижували термін експлуатації залізничних шпал і в низці випадків призводили до виникнення аварійних ситуацій на залізницях, наведені у відповідних класифікаторах. До таких дефектів можна віднести як дефекти, що виникли внаслідок силових та динамічних навантажень на шпалу, так і ті, що виникли через невідповідні фізико-механічні характеристики матеріалів, що використовувалися при виготовленні залізобетонних шпал (недостатні морозостійкість і довговічність бетону внаслідок використання складових матеріалів, непридатних для шпального бетону, неправильного підбору складу бетонної суміші та поганого ущільнення її під час виготовлення шпал) відповідно до класифікації, що наведена у Технічних вказівках з використання старопридатних матеріалів верхньої будови колії на залізницях України (ЦП-0150) [14].

Мета

Метою роботи було дослідження факторів, що призвели до передчасного руйнування бетону залізничних шпал.

Методика

Візуальні дослідження макроструктури та характеру руйнувань та забруднення шпального бетону виконували за допомогою камери мобільного Android 4.4.2 Lenovo S898t+.

Тріщини залізобетонних шпал фіксували на камеру безпосередньо на місці їх попередньої (якщо шпали були зняті з магістральної колії) та поточної експлуатації. Макроструктурні характеристики шпального бетону (однорідність розподілу щебеню) досліджували під час виділення окремих зруйнованих частин шпал.

Для виконання електронно-мікроскопічних, мікрорентгеноспектральних та фрактографічних досліджень зразки матеріалів напилювали електрострумопровідним шаром золота товщиною 3–5 нм на установці іонного напилювання JFC–1100 JEOL Fine Coat ion sputter (Японія).

Дослідження виконували за допомогою растрового аналітичного сканівного електронного мікроскопа (Analytical Scanning Electron Microscope) JSM 6060LA, JEOL, Японія з енергодисперсійним спектрометром EDS detector Ex-54175 Jmu Jeol (OXFORD Instruments) та персональним комп'ютером в режимі прискорюючої напруги – 10-30 кВ, сили електричного струму – 3×10^{-10} А, збільшенні $\times 100 \dots \times 30000$ при контрасті у вторинних (SEI) та відображених (BEI) електронах.

Виклад основного матеріалу. Попередні дослідження характерних зломів та областей руйнування шпал та хімічного складу сировинних матеріалів для виробництва бетону зроблені в рамках договору № ЦУПП-04/0035/10-53.2007.10.10 від 31.05.2010 р. «Проведення досліджень по встановленню причин руйнування залізобетонних шпал та розробка рекомендацій по підвищенню міцності бетону» Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту за участю співробітників ПП «Логія», м. Дніпропетровськ [11] показали необхідність ретельного контролю за якістю піску, щебеню та цементу. Реакційна спроможність означених складових впливає на структуру, що утворюється в процесі довготривалої лужно-кислотнокремнієвої реакції, яка протікає в бетонах шпал протягом 2–5 років та більше. В ході реакції виділяється нова структурна складова, що має свій об'єм та з середини руйнує бетон. Крім того, при експлуатації шпал в природних умовах України, при знакоперемінних циклічних температурних та механічних навантаженнях, при зміні сезонів року, при підвищеній вологості нестабільні структурні складові бетону рекристалізуються зі збільшенням об'єму більше ніж у 2 рази. Виявленню нестабільних та новоутворених в твердому стані структурних складових присвячено цю роботу.

Перевірка міцності шпального бетону на стиск на 28 добу показала міцність у 88,45 МПа. Усі укладені шпали на ПЧ-10 відповідали вимогам технічних умов за глибиною укладання арматури та іншим технічним характеристикам [4–6]. Отже, очевидно, що вихідні характеристики продукції заводу-виробника задовольняють вимогам нормативних документів та значно їх перевищують. Тому причини

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

передчасного руйнування необхідно шукати в твердо-фазових структурних перетвореннях, які відбуваються під час температурних циклічних змін в інтервалі $-5...+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ при підвищеній вологості, або у зовнішніх забрудненнях шпал в період їх експлуатації [5, 7, 17]. На жаль, досі заводи не можуть контролювати структурний стан шпального бетону для запобігання рекристалізаційних процесів в шпалах, що експлуатуються, хоча необхідність таких досліджень підтверджено вимогами Європейських стандартів, наприклад стандартом EN 1504 [7]. Такі дослідження могли запобігти не тільки випуску недовговічного бетону, а і гарантувати об'єктивні характеристики поставленого та експлуатованого бетону при експертних дослідженнях передчасних руйнувань, які, можливо, виникли за рахунок зовнішніх факторів.

Характер масових руйнувань залізобетонних шпал наведено на рис. 1.



Рис. 1. Характер масових руйнувань шпал на ПЧ10 «Знам'янка» Одеської залізниці

Fig. 1. Mass destruction nature of sleepers on IF 10 «Znamianka» on Odessa railway

З рис. 1 видно, що сизо-фіолетово-голубі плями на поверхні бетону вказують на проходження структурних перебудов усередині бетону. Подібні плями є ознакою перебудов цементного каменю етрингіт-таумасит, що відбуваються із зміною об'єму структурних складових [17]. Причиною таких перебудов є не тільки мікроструктурний стан цементних кристалів, а і, вірогідно, зовнішні та внутрішні фактори, які прискорили такі перетворення.

Іншою причиною швидкого руйнування залізобетонних шпал є макроструктурна неоднорідність бетону шпал. На рис. 2 наведено характер руйнування з формуванням тріщин уздовж всієї шпали з багатьма тріщинами, які паралельні армуючим вставкам. Тріщини безперешкодно, тобто не огинаючи щебеневі включення, ідуть по цементному розчину, який нижчий за міцністю, ніж сусідня частина бетонної шпали. Але попереднє напруження бетону шпали розраховується не на цементний розчин між струнами арматури, а на міцнісні характеристики бетону. Причому, як ми з'ясували раніше, його характеристики досить високі $R_{ct} = 88,45\text{ МПа}$.



Рис. 2. Формування повздовжніх тріщин в розчинній частині макронеоднорідності бетону між арматурними прутами, які збіднені щебеневим заповнювачем

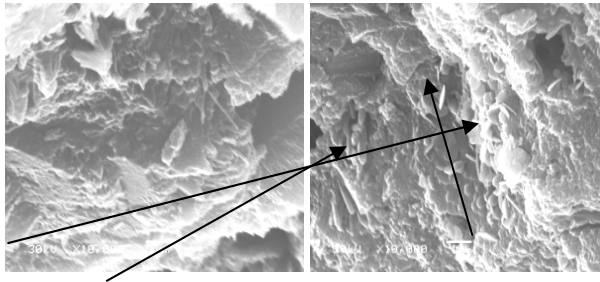
Fig. 2. The formation of longitudinal cracks in macronutrient soluble part of the concrete between reinforcing bars that were depleted by the crushed stone filler aggregate

Підвищення однорідності макроструктури бетону можливо досягти при застосуванні щебеню фракції 5–20 мм, вільного від пилоподібних часток та фракції вище ніж 20 мм. Таких характеристик щебеню можливо досягти при застосуванні просіваючих поверхонь нового покоління виробництва ПП «Логія». Вказані поверхні також дозволять економити витрати до 50 % електричної енергії на просівання одиниці маси щебеню.

Фрактографічні дослідження зломів бетону у середині шпал наведені на рис. 3, свідчать

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

про щільну макроструктуру бетону з діаметрами мікропор від 1 до 1,5 мкм. В структурі присутні кристали лінзоподібної, голкоподібної морфології та плескаті кристали портландиту. Наявність гідрогранатних часток вказує на надлишок води в цементному камені. Цей надлишок сформовано за рахунок використання великої кількості цементу (500 кг) на куб бетону та відсутності пластифікаторів, які знижують водопотребу бетонної суміші.



Гідрогранат ($C_3A_{1-x}F_xS_zH_{6-2z}$), де $0 \leq x \leq 1, 0 \leq z \leq 3$ фаза A_{F1} стрингіт ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)

Рис. 3. Структура цементного каменю середньої частини передчасно зруйнованих залізобетонних шпал

Fig. 3. Cement stone structure of the middle part of prematurely destroyed concrete sleepers

В середній частині шпал, які експлуатувалися не повних три роки, знайдено продукт лужнокремнієвокислої реакції (рис. 4). При відсутності прямого контакту з навколишнім середовищем та обмеженим доступом води швидкість реакції становила 5–10 мкм у 3 роки, тобто 1,67–3,34 мкм в рік.

Хімічний склад цементного каменю різної морфології та продукту лужнокремнієвокислої реакції наведено на рис. 5–7.

З рис. 4 видно, що продукт лужнокремнієвокислої реакції за приведеним коефіцієнтом лужності перевищує нормативний поріг 0,6 % (мас.) [5] у 3,5 разу та становить 2,12 % (мас.). У шарі розтрісканого цементного каменю – продукті лужнокремнієвокислої реакції – наявні атоми хлору у кількості 0,65 % (мас), що більше ніж у 6 разів перевищує максимально допустиму кількість хлору в 0,1 % (мас) [5].

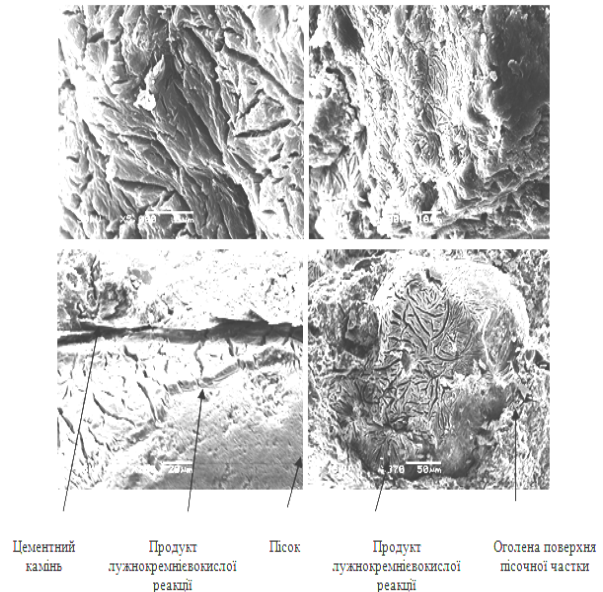
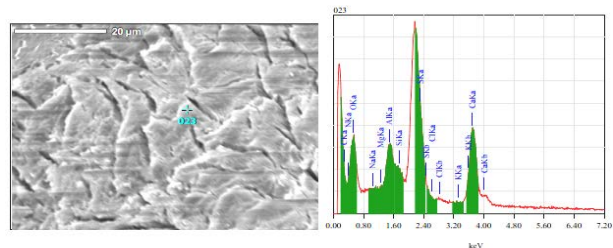


Рис. 4. Структура продукту лужнокремнієвокислої реакції, утвореного в твердому стані в середній частині передчасно зруйнованих залізобетонних шпал

Fig. 4. Product structure of alkali silicic acid reactions formed in the solid state in the middle part of prematurely destroyed concrete sleepers



Хім ел., К α	Мас. %	Похибка, % відн.	Ат. %	З'єднання	Мас. %
O	32,9		72,46		
Mg	1,85	4,28	4,55	MgO	3,06
Al	6,77	4,9	7,51	Al ₂ O ₃	12,8
Si	4,3	6,03	9,17	SiO ₂	9,2
K	3,14	5,03	2,4	K ₂ O	3,78
Ca	50,4	7,63	75,28	CaO	70,51
Cl	0,65	1,09	3,01	Cl	0,65
Всього	100,00				

Рис. 5. Хімічний склад продукту лужнокремнієвокислої реакції, утвореного в твердому стані в середній частині передчасно зруйнованих залізобетонних шпал

Fig. 5. The chemical composition of the product of alkali silicic acid reactions formed in the solid state in the middle part of prematurely destroyed concrete sleepers

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Наявність хлору лише в продукті лужнокремнієвокислої реакції на межі пісочних часток та масиву цементного каменю доводить, що атоми хлору в обмеженій кількості дифундували на поверхню пісочних часток та надалі прискорили реструктуризаційні процеси безпосередньо між кремнієвою кислотою аморфних пісочних часток та лужним цементним каменем.

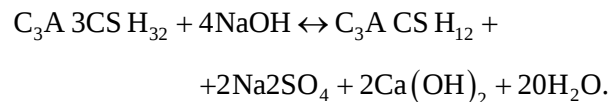
Вірогідно, у зимовий час відвантаження дрібних заповнювачів для попередження грудкування пісочних мас (змерзання піску у ємностях вагонів) та безпроблемного вивантаження з вагона залізничники додали малу кількість повареної солі. Ця сіль, вірогідно, і стала каталізатором зазначеної реакції.

З рис. 6 та 7 видно, що приведений коефіцієнт лужності щільної складової цементного каменю – портландиту (2,19 % (мас.)) незначною частиною вище ніж у пористих складових (1,92 % (мас.)), але відповідно у 3,6 та у 3,2 разу перевищує нормативний показник приведеної лужності.

Підвищена лужність цементу діє як каталізатор реструктуризаційних процесів для великих етрингітних кристалів цементного каменю. Процеси рекристалізації починаються вже на стадії термовологої обробки, де при досягненні температури 50–60 °C за підвищеної концентрації лужних металів етрингіт (трисульфат) рекристалізується у моносульфат:

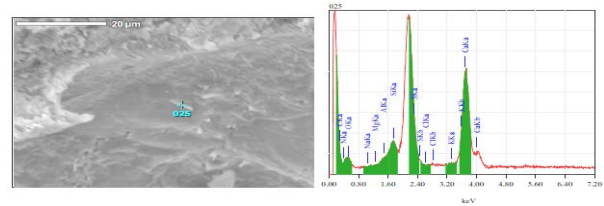


Ця реакція зворотна залежно від температурних умов:



При цьому утворення етрингіту з моносульфату пов'язане з специфічним збільшенням об'єму до 2,3 разу.

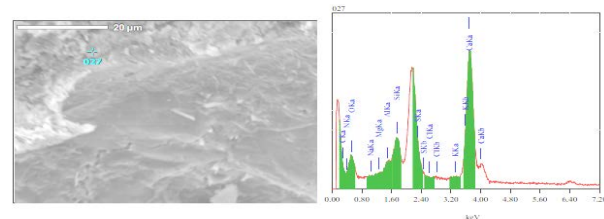
Зазначені процеси менш небезпечні та менш вірогідні в дрібнопористій частині цементного каменю, збагаченого магнієм, та відповідно значно небезпечніші та, на жаль, прогнозовано здійснюються під час рекристалізації великих етрингітних кристалів.



Хім ел., К α	Мас. %	Похибка, % відн.	Ат. %	З'єднання	Мас. %
O	32,9		72,46		
Mg	1,85	4,28	4,55	MgO	3,06
Al	6,77	4,9	7,51	Al ₂ O ₃	12,8
Si	4,3	6,03	9,17	SiO ₂	9,2
K	3,14	5,03	2,4	K ₂ O	3,78
Ca	50,4	7,63	75,28	CaO	70,51
Всього	100,00				

Рис. 6. Хімічний склад щільного портландиту в середній частині передчасно зруйнованих залізобетонних шпал

Fig. 6. The chemical composition of dense portlandite in the middle part of prematurely destroyed concrete sleepers



Хім ел., К α	Мас. %	Похибка, % відн.	Ат. %	З'єднання	Мас. %
O	31,07				
Na	0,21	1,91	0,26	Na ₂ O	0,28
Mg	0,54	1,88	1,29	MgO	0,9
Al	1,35	2,1	1,44	Al ₂ O ₃	2,54
Si	4,38	2,46	8,98	SiO ₂	9,37
K	2,43	2,06	1,79	K ₂ O	2,93
Ca	60,02	3,2	86,25	CaO	83,98
Всього	100,00				

Рис. 7. Хімічний склад дрібнодисперсної пористої AFt- та етрингітної фази в середній частині передчасно зруйнованих залізобетонних шпал

Fig. 7. The chemical composition of the fine porous AFt phase in the middle part of prematurely destroyed concrete sleepers

Застарілий ЕДС-спектрометр та детектор хімічних елементів застосованого приладу не дозволив проаналізувати вміст азоту та

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

в деяких випадках сірки в структурних складових цементного каменю, але зрозуміло, що її кількість у великих еtringітних кристалах повинна бути максимальною. А підвищений вміст азоту сприяє утворенню в бетоні з портландиту $\text{Ca}(\text{OH})_2$ розчинної кальцієвої селітри $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, яка вилуговує вапно з втратою густини-міцності цементного каменю.

Найбільш характерні структури поверхонь руйнування залізобетонних шпал наведено на рис. 8. З рисунку видно, що на ділянках щільного портландиту відбувається рекристалізація цементного каменю з утворенням великих еtringітних кристалів, та на поверхні пісочних часток утворені продукти лужнокремнієвокислої реакції. Також наявні ділянки цементного каменю з розчинними солями кальцію, що утворюють гелеподібні структури.

На рис. 9–11 наведено хімічний склад різних морфологічних типів цементного каменю на зруйнованій поверхні залізобетонних шпал.

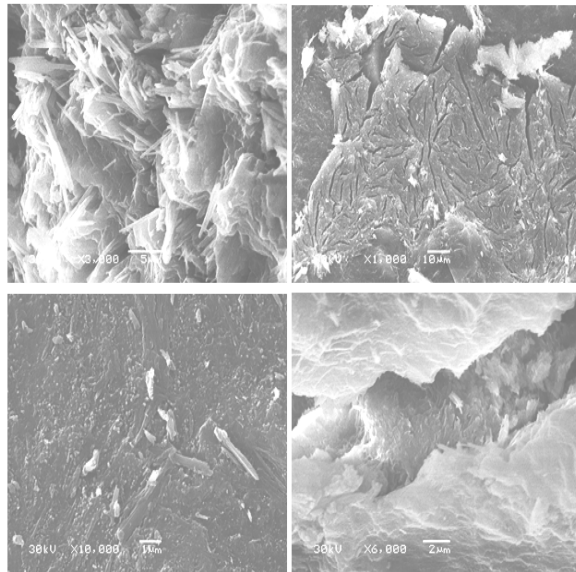
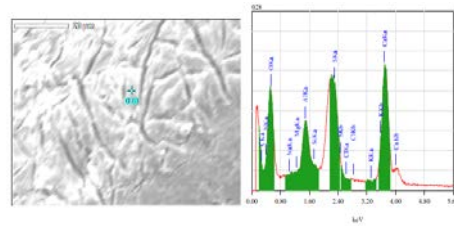


Рис. 8. Морфологія структурних складових цементного каменю в верхній частині передчасно зруйнованих залізобетонних шпал

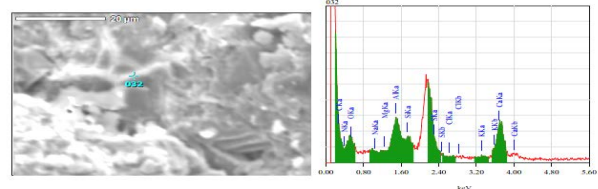
Fig. 8. Morphology of structural components of cement stone in the upper part of prematurely destroyed concrete sleepers



Хім ел., Ка	Мас. %	Похибка, % відн.	Ат. %	З'єднання	Мас. %
O	35,72				
Mg	0,91	1,58	2,29	MgO	1,51
Al	5,08	1,79	5,76	Al ₂ O ₃	9,61
Si	1,49	2,16	3,24	SiO ₂	3,18
S	6,19	2,25	11,81	SO ₃	15,46
Cl	1,09	1,12	1,88	Cl	1,09
K	0,69	1,87	0,54	K ₂ O	0,83
Ca	48,83	2,79	74,49	CaO	68,32
Всього	100,00				

Рис. 9. Хімічний склад продукту лужнокремнієвокислої реакції в верхній частині передчасно зруйнованих залізобетонних шпал

Fig. 9. The chemical composition of the product alkali silicic acid reactions in the upper part of prematurely destroyed concrete sleepers

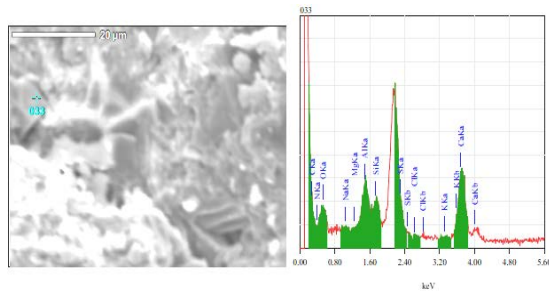


Хім ел., Ка	Мас. %	Похибка, % відн.	Ат. %	З'єднання	Мас. %
O	34,05				
Mg	0,89	11,38	2,24	MgO	1,48
Al	8,32	12,91	9,39	Al ₂ O ₃	15,73
Si	5,43	16,17	11,76	SiO ₂	11,61
Cl	0,58	8,12	1,00	Cl	0,58
K	1,93	13,51	1,3	K ₂ O	2,33
Ca	48,79	20,38	74,10	CaO	68,27
Всього	100,00				

Рис. 10. Хімічний склад цементного каменю в верхній частині передчасно зруйнованих залізобетонних шпал

Fig. 10. Chemical composition of cement stone in the upper part of prematurely destroyed concrete sleepers

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО



Хім ел., К α	Мас. %	Похибка, % відн.	Ат. %	З'єднання	Мас. %
O	35,12				
Na	0,43	8,51	0,57	Na ₂ O	0,58
Mg	0,76	8,48	1,90	MgO	1,26
Al	8,95	9,62	10,12	Al ₂ O ₃	16,92
Si	7,16	12,14	15,55	SiO ₂	15,31
Cl	1,07	6,15	1,84	Cl	1,07
K	1,06	10,26	0,83	K ₂ O	1,28
Ca	45,44	15,31	69,18	CaO	63,68
Всього	100,00				

Рис. 11. Хімічний склад цементного каменю в верхній частині передчасно зруйнованих залізобетонних шпал

Fig. 11. Chemical composition of cement stone in the upper part of prematurely destroyed concrete sleepers

Як видно з рис. 9–11, в області руйнувань цементного каменю на поверхні шпал спостерігаються локальні об'єми з підвищеним вмістом оксиду сірки SO₃ – 15,46 % (мас.), що перевищує максимальний допустимий рівень 3,5 % (мас.) у 4,4 разу. Приведений коефіцієнт лужності цементного каменю перевищує нормативний показник у 0,6 % (мас.) у 2,17 разу та сягає 2,33 % (мас.). Вміст алюмінатів стабільно перевищує нормативний показник у 8 % (мас) в 1,2÷2,1 разу та максимально сягає 16,92 % (мас.). Вміст хлору стабільно перевищує нормативний показник у 0,1 % (мас.) у 5,8...11 разів та максимально сягає 1,09 % (мас.). Саме таке поєднання хімічних елементів сприяє прискореному формуванню вторинних етрингітних кристалів та таумаситу в бетоні в процесі експлуатації залізобетонних шпал. Застосування аморфного кремнезему як дрібного заповнювача у комплексі з насиченням цементу підвищеної лужності хлором в концентрації, яка перевищує 1 % (мас.), максимально пришвидшує лужнокремнієвокислу реакцію, яка розді-

ляє цементний камінь від дрібних заповнювачів. При цьому в структурі зберігаються міцні структурні складові плескати кристалів цементного каменю з відношенням CaO/SiO₂ – 4,1 та для голкоподібних кристалів – 5,8.

За протоколами періодичних випробувань портланд цементу в акредитованій лабораторії ПАТ «Укргеолбудм», м. Київ згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-46:2010 виявлено підвищений рівень приведеної лужності цементу ПЦ1-500 виробництва як ВАТ «Івано-Франківськ-цемент», так і ПАТ «Волинь-цемент». Реакційна здатність піску та щебеню за результатами випробувань тієї ж лабораторії відповідає вимогам діючих стандартів.

Дослідження впливу агресивних зовнішніх факторів на бетон в процесі експлуатації шпал. Традиційно зовнішні фактори впливу на руйнування бетону залізничних шпал відіграють не останню роль у корозійних процесах. Шпали у процесі експлуатації насичуються різноманітними реагентами, здатними значно прискорити як будь-які реакції, так і повністю розчинити цементний камінь. На рис. 12 та 13 наведено стан залізничних шпал на ділянці, де вони експлуатувалися. З рисунків видно, що шпали забруднені вуглемісними речовинами та у місцях крапельного забруднення прискорено проходять процеси руйнації цементного каменю.

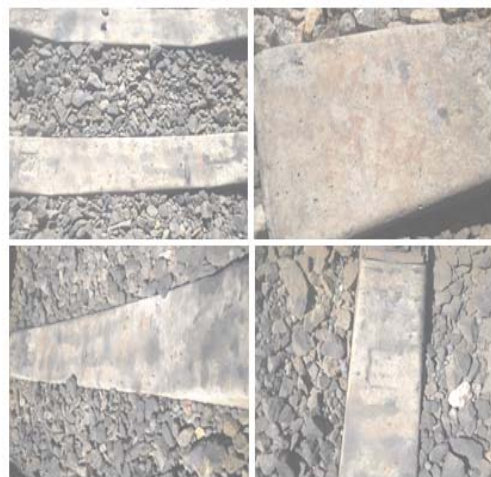


Рис. 12. Формування корозійних каверн в забрудненому бетоні шпал

Fig. 12. The formation of corrosion cavities in filthy concrete sleepers

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

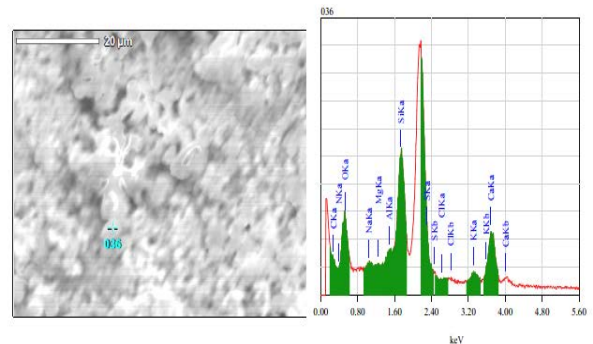
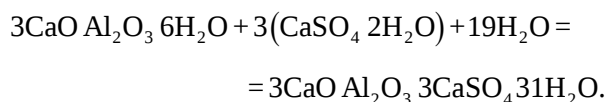


Рис. 13. Кінцевий стан бетону впродовж періоду менше ніж 3 роки експлуатації

Fig. 13. The final state of the concrete during the period less than 3 years of operation

З аналізу хімічного складу продуктів корозії бетону (рис. 14) видно, що основною речовиною, що сприяє руйнації бетону, є вуглеводні з'єднання (вірогідно, з вмістом фенолу) та розчини солей соляної кислоти (NaCl). Зазначені речовини сприяють розчиненню $\text{Ca}(\text{OH})_2$ або безпосередньо сприяють корозії бетону з утворенням водорозчинного CaCl_2 .

З рисунків 14, 15 видно, що кальцій в структурі забрудненого бетону вимитий з цементного каменю, співвідношення його оксиду з оксидом кремнію майже дорівнює одиниці. Крім того, необхідно зауважити, що слабкий детектор приладу не зміг ідентифікувати сірку в продуктах корозії забрудненого вуглеводнями бетону, але навіть невелика її кількість в мінералізованій воді спричиняє різні види корозії, коли аніон SO_4^{2-} взаємодіє з катіоном Ca^{2+} , утворюючи в присутності води $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Кристалічний двоводний гіпс, слабо розчинений у воді, але внаслідок зростання кристалів, в порах створюється механічне напруження і тріщини. Якщо у воді мало аніонів SO_4^{2-} , то можна очікувати іншу реакцію:



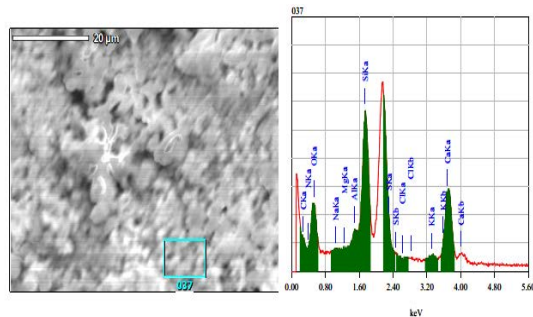
Хімічний елемент, К α	Мас. %	Похибка, % відн.	Ат. %
C	11,18	1,05	19,48
O	36,5	2,98	47,73
Na	1,52	1,59	1,38
Mg	1,02	1,32	0,88
Al	3,16	1,32	2,45
Si	16,49	1,42	12,28
Cl	0,33	1,68	0,19
K	4,25	2,37	2,27
Ca	25,56	2,98	13,34
Всього	100,00		

Рис. 14. Хімічний склад структурних складових зруйнованого цементного каменю під дією хімічних речовин на верхній забрудненій частині шпал

Fig. 14. Chemical composition of structural components of destroyed cement stone under chemical substances action on the top of the contaminated part of sleepers

Нова кристалічна речовина називається еtringітом і відрізняється в 3 рази більшим об'ємом, ніж кристали вихідного гідроалюмінату кальцію $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, що призводить до ще більш інтенсивного зростання напруження усередині цементного каменю і мікротріщиноутворення та розсіпання монолітного блоку на окремі цементні кристали (рис. 16). При цьому необхідно відмітити, що сірка виявлена в продуктах корозії на поверхні розтрісканого бетону шпал. Крім того, зрозуміло, що вуглеводні речовини типу фенол не ідентифікуються мікрорентгеноспектральним аналізатором, але на його присутність вказують окремі кристали цементного каменю, в яких розчинені границі та вимиті у вигляді «кальцієвого молочка».

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО



Хім ел., К α	Мас. %	Похибка, % відн.	Ат. %	З'єднання	Мас. %
C	10,23	0,81	36,4	C	10,23
O	36,02				
Na	0,53	1,65	0,5	Na ₂ O	0,72
Mg	0,44	1,67	0,77	MgO	0,72
Al	3,62	1,9	2,87	Al ₂ O ₃	6,84
Si	17,65	2,32	26,85	SiO ₂	37,76
K	1,85	2,17	1,01	K ₂ O	2,23
Ca	29,65	3,17	31,61	CaO	41,49
Всього	100,00				

Рис. 15. Хімічний склад структурних складових зруйнованого цементного каменю під дією хімічних речовин на верхній забрудненій частині шпал

Fig. 15. Chemical composition of structural components of destroyed cement stone under chemical substances action on the top of the contaminated part of sleepers

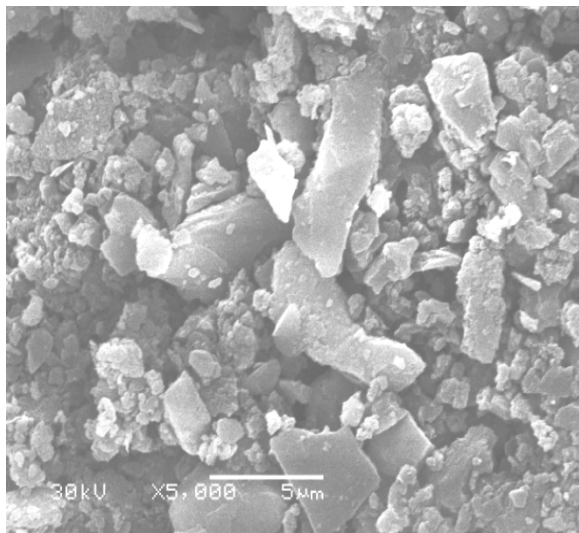


Рис. 16. Структура забрудненого цементного каменю залізобетонних шпал

Fig. 16. The structure of the contaminated cement reinforced concrete sleepers

Таким чином, однією з причин передчасного руйнування залізобетонних шпал є їх забруднення вуглеводнями з вмістом активних фенолів, а також відходами з вмістом мінеральних солей на основі хлоридів натрію та магнію з малим вмістом сірки. Це викликає розтріскування цементного каменю та вимивання кальцію по границях цементних кристалітів шляхом утворення з ним водорозчинних солей.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна та значимість роботи полягає в застосуванні запатентованої авторської експрес-методики дослідження морфології та хімічного складу структурних складових бетону у виробничому циклі підприємств, що дасть змогу запобігти передчасному руйнуванню бетону внаслідок дії внутрішніх факторів.

Результати та висновки

Аналіз причин руйнування залізобетонних шпал на Знам'янській дистанції колії на 320 км ПК 1-4 непарної колії перегону Чорноліська-Трепівка у кількості 1 896 шт., які прогнозовано не відпрацюють 5 % експлуатаційного ресурсу, показав, що вихідна міцність заводського бетону відповідає вимогам діючих ДСТУ.

Макроструктурний аналіз руйнування залізобетонних шпал показав наявність наскрізних тріщин вздовж арматурних струн, які проходять виключно по цементному розчину, міцність якого є значно нижчою, ніж у бетонній складовій шпали та такою, що не витримує навантажень попередньо напруженої арматури.

У структурі та хімічному складі середньої частини цементного каменю бетону шпал, де є мінімальний вплив оточуючого середовища, виявлено як наявність великих еtringітних кристалів, схильних до реструктуризації, так і присутність продуктів лужнокремнієвокислої реакції навколо аморфних або тих, що містять аморфний кремнезем, пісочні частки. Приведений коефіцієнт лужності щільної складової цементного каменю – портландиту (2,19 % (мас.)) незначною частиною вище, ніж у пористих складових (1,92 % (мас.)), але відповідно у 3,6 та у 3,2 разу перевищує нормативний показник. Поверхня пісочних часток насичена

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

атомами хлору, які додатково пришвидшують та ініціюють лужнокремнієвокислу реакцію. Таким чином, реструктуризаційні процеси всередині шпал є наслідком як відсутності вхідного контролю сировинних матеріалів піску та цементу, так і підвищеної температури термо-влогої обробки (70° С), яка сприяє зростанню великих етрингітних кристалів, що спричиняє розтріскування цементного каменю.

На ділянці руйнувань цементного каменю на поверхні шпал спостерігаються локальні об'єми з підвищеним вмістом оксиду сірки SO_3 –15,46 % (мас.), що перевищує максимальний допустимий рівень 3,5 % (мас.) у 4,4 разу. Приведений коефіцієнт лужності цементного каменю перевищує нормативний показник у 2,17 разу та сягає 2,33 % (мас.). Вміст алюмінів стабільно перевищує нормативний показник у 8 % (мас), максимально їх концентрація підвищується у 2,1 разу до 16,92 % (мас.). Вміст хлору стабільно перевищує нормативний показник у 5,8÷11разів та сягає 1,09 % (мас.). Саме таке поєднання хімічних елементів сприяє прискореному формуванню вторинних етрингітних кристалів та таумаситу в бетоні в процесі експлуатації залізобетонних шпал [17]. Застосування аморфного кремнезему як дрібного заповнювача у комплексі з насиченням цементу підвищеної лужності хлором в концентрації, яка перевищує 1 % (мас.), максимально пришвидшує лужнокремнієвокислу реакцію, яка відділяє цементний камінь від дрібних заповнювачів.

Однією з причин передчасного руйнування залізобетонних шпал є їх забруднення в процесі експлуатації вуглеводнями з вмістом активних фенолів, а також відходами з вмістом мінеральних солей на основі хлоридів натрію та магнію з малим вмістом сірки. Це викликає розтріскування цементного каменю та вимивання кальцію по границях цементних кристалітів шляхом утворення з ним водорозчинних солей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Деякі аспекти технологічних прийомів виробництва та контролю експлуатаційного ресурсу залізобетонних шпал в Україні та світі / В. В. Рибкін, В. В. Коваленко, Ю. Л. Заяць [та ін.] // Заліз. трансп. України. – 2012. – № 3/4. – С. 76–81.
- Дослідження експлуатаційної стійкості залізобетонних шпал та основні технологічні прийоми її покращення / В. В. Рибкін, В. В. Коваленко, Ю. Л. Заяць [та ін.] // Буд-во України. – 2011. – № 4. – С. 19–23.
- Дослідження фізико-хімічних властивостей дрібних заповнювачів для виробництва залізобетонних шпал / В. В. Рибкін, В. В. Коваленко, Ю. Л. Заяць [та ін.] // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 40. – С. 140–145.
- ДСТУ Б В.2.7–46–2010. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. – Київ : Укрархбудінформ, 2011. – 14 с.
- ДСТУ Б В.2.6–145:2010 (ГОСТ 31384:2008, NEQ). Конструкції будинків та споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги. – Київ : Укрархбудінформ, 2010. – 52 с.
- ДСТУ Б В.2.6–57–2008. Шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 мм. Технічні умови. – Київ : НДІБК, 2009. – 28 с.
- Європейський стандарт EN 1504. Матеріали і системи для ремонту і захисту бетонних конструкцій [Електронний ресурс]. – 2009. – Режим доступу: http://emaco26.ru/d/180619/d/evropeyskiy_standart_en_1504.pdf. – Назва з екрана. – Перевірено: 26.10.2015.
- Железобетонные шпалы для рельсового пути / А. Ф. Золотарский, Б. А. Евдокимов, Н. М. Исаев [и др.]. – Москва : Транспорт, 1980. – 270 с.
- Мощанский, Н. А. Представление о природе минеральных вяжущих на основе периодического закона Менделеева и учения о метастабильных состояниях : В кн. Тр. совещания по химии цемента / Н. А. Мощанский ; под ред. П. П. Будникова. – Москва : Госстройиздат, 1956. – 518 с.
- Пат. 99426 Україна. МПК G 01 N №33/38 (206.01), C 04 B 28/00. Особливошвидкотверднучий безпропарювальний бетон / Пługін А. А., Пługін А. М., Романенко О. В. [та ін.] (Україна) ; заявник та патентовласник Укр. держ. акад. заліз. трансп. – № а 2011 14838. ; заявл. 14.12.2011 ; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 15. – 20 с.
- Проведення досліджень по встановленню причин руйнування залізобетонних шпал та розробка рекомендацій по підвищенню міцності бетону : Звіт за договором № ЦУПП-04/0035/10–53.2007.10.10 від 31.05.2010 р. з Дніпропетр.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- нац. ун-том залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2011. – 168 с.
12. Пунагин, В. Н. Бетон в условиях повышенных температур : монография / В. Н. Пунагин, А. Н. Пшинько, Н. Н. Руденко. – Днепропетровск : Арт-Пресс, 1999. – 292 с.
 13. Саницкий, М. А. Некоторые вопросы кристаллохимии цементных минералов / М. А. Саницкий. – Киев : УМК ВОУ, 1990. – 60 с.
 14. Технічні вказівки з використання староприсаджених матеріалів верхньої будови колії на залізницях України : ЦП-0150 : затв. наказом Укрзалізниці від 24.03.2006 р. №112-Ц. – Київ : НКТБ ЦП УЗ, 2006. – 56 с.
 15. Умань, Н. И. Твердение цементных минералов при пониженных температурах / Н. И. Умань, Л. Б. Сватовская, В. П. Овчинникова // Цемент и его применение. – 1998. – № 5–6. – С. 26–28.
 16. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня / Л. Г. Шпынова, В. И. Чих, М. А. Саницкий [и др.]. – Львов : Вища шк., 1981. – 160 с.
 17. Штарк, И. Долговечность бетона / И. Штарк, Б. Вихт. – Киев : Оранта, 2004. – 295 с.
 18. Changes in portlandite morphology with solvent composition: Atomistic simulations and experiment / S. Galmarini, A. Aimable, N. Ruffray, P. Bowen // Cement and Concrete Research. – 2011. – Vol. 41. – Iss. 12. – P. 1330–1338. doi:10.1016/j.cemconres.2011.04.009.
 19. Hooto, R. D. Current developments and future needs in standards for cementitious materials / R. D. Hooto // Cement and Concrete Research : Keynote papers from 14th Intern. Congress on the Chemistry of Cement (13.10.–16.10.2015). – 2015. – Vol. 78, p. A. – P. 165–177. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.05.022.
 20. Klein, D. H. Homogeneous nucleation of calcium hydroxide / D. H. Klein, M. D. Smith // Talanta. – 1968. – Vol. 15. – Iss. 2. – P. 229–231. doi:10.1016/0039-9140(68)80227-9.
 21. Ramachandran, V. S. Mechanism of Hydration of Calcium Oxide / V. S. Ramachandran, P. J. Sedra, R. F. Feldman // Nature. – 1964. – Vol. 201. – Iss. 4916. – P. 288–289. doi:10.1038/201288a0.
 22. Recent durability studies on concrete structure / S. W. Tang, Y. Yao, C. Andrade, Z. J. Li // Cement and Concrete Research : Keynote papers from 14th Intern. Congress on the Chemistry of Cement (13.10.–16.10.2015). – 2015. – Vol. 78, p. A. – P. 143–154. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.05.021.
 23. Scrivener, K. L. Advances in understanding hydration of Portland cement / K. L. Scrivener, P. Juilland, P. J. M. Monteiro // Cement and Concrete Research : Keynote papers from 14th Intern. Congress on the Chemistry of Cement (13.10.–16.10.2015). – 2015. – Vol. 78, p. A. – P. 38–56. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.05.025.
 24. Trend to the Production of Calcium Hydroxide and Precipitated Calcium Carbonate with Defined Properties / H. Lohmus, A. Rani, U. Kallavus, R. Reiska // The Canadian J. of Chemical Engineering. – 2002. – Vol. 80. – Iss. 5. – P. 911–919. doi: 10.1002/cjce.5450800514.

В. В. КОВАЛЕНКО^{1*}, Ю. Л. ЗАЯЦ^{2*}, П. А. ПШИНЬКО^{3*}

^{1*}Каф. «Управление проектами, здания и строительные материалы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 48 90 772, эл. почта valusha.kov@yandex.ua, ORCID 0000-0002-1196-7730

^{2*}Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 81, эл. почта zyl41@mail.ru, ORCID 0000-0002-9213-1790

^{3*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (095) 742 04 34, эл. почта mostoproekt@yandex.ua, ORCID 0000-0003-4187-5340

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ НА ЗНАМЕНСКОЙ ДИСТАНЦИИ ПУТИ ПЧ 10 ОДЕССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Цель. Научная работа своей целью имеет исследование факторов, приведших к преждевременному разрушению бетона железнодорожных шпал. **Методика.** В работе использована экспресс-методика определения морфологии и химического состава структурных составляющих бетона, запатентованная Днепропетровским национальным университетом железнодорожного транспорта. Методика дает возможность оперативно

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

контролировать морфологию и химический состав кристаллов цементного камня, как наиболее слабого звена в структуре композитного материала–бетона. А также прогнозировать, в соответствии с рекомендациями немецких ученых, вероятность структурных преобразований цементного камня в твердом состоянии, определяющих долговечность этого композитного материала. **Результаты.** Массовые разрушения железобетонных шпал на железных дорогах Украины учащаются с каждым годом. Причем, если такие разрушения в 2010 году происходили после 4–5 лет эксплуатации, то в 2015 году – лишь после 2–3 лет установки шпал на магистральных железнодорожных путях. По характеру разрушений бетона шпал можно отметить многофакторность воздействий на него. Партии цемента и других сырьевых материалов перед использованием были исследованы стандартными методами в аккредитованной лаборатории ПАО «Укргеолбудм» (Киев) и получили положительные оценки для использования в производстве железобетонных шпал. Однако значительная ошибка в экспериментальных данных по стандартным методикам не позволила выявить критические характеристики материалов, которые пагубно влияют на долговечность бетона подрельсовых оснований. По результатам исследований было установлено, что причинами массового преждевременного разрушения шпал являются: 1) неоднородность макроструктуры бетона, как следствие применения щебня фракции 5–25 мм; 2) влияние агрессивной среды на бетонную поверхность шпал; 3) наличие в структуре средней части шпал крупных этрингитных кристаллов, склонных к реструктуризации и присутствие продуктов щелочнокремневокислой реакции вокруг аморфных или содержащих аморфный кремнезем, песочных частиц; 4) превышение нормативного коэффициента приведенной щелочности плотной и пористой составляющих цементного камня соответственно в 3,6 и в 3,2 раза; 5) насыщенность поверхности песочных частиц атомами хлора, которые дополнительно ускоряют и инициируют щелочнокремневокислую реакцию. **Научная новизна.** Исследователями впервые была применена запатентованная авторская экспресс-методика исследования морфологии и химического состава структурных составляющих бетона. **Практическая значимость.** Применение предлагаемой методики исследования сырьевых материалов и структуры бетона в производственном цикле предприятий позволит предотвратить преждевременное разрушение бетона вследствие действия внутренних факторов.

Ключевые слова: железобетонные шпалы; щебень; песок; цемент; щелочнокремневокислая реакция; микроструктура; цементный камень

V. V. KOVALENKO^{1*}, Y. L. ZAYATS^{2*}, P. O. PSHINKO^{3*}

^{1*}Dep. «Management of Projects, Construction and Construction Materials», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 489 07 72, e-mail valusha.kov@yandex.ua, ORCID 0000-0002-1196-7730

^{2*}Dep. «Life Safety», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 81, e-mail zyl41@mail.ru, ORCID 0000-0002-9213-1790

^{3*}Dep. «Construction Manufacture and Geodesy», Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. + 38 (095) 742 04 34, e-mail mostoproekt@yandex.ua, ORCID 0000-0003-4187-5340

THE CAUSES STUDY OF THE PREMATURE DESTRUCTION OF THE CONCRETE SLEEPERS ON THE ZNAMENKA TRACK OF THE IF10 OF THE ODESSA RAILWAY

Purpose. The aim of the paper is to study the factors that led to the premature destruction of concrete sleepers. **Methodology.** The express-method of determining the morphology and chemical composition of structural components in concrete, patented by Dnipropetrovsk National University of Railway Transport was used in the paper. Methodology makes it possible to control the morphology and chemical composition of cement crystals as the weakest link in the structure of composite material – concrete, and to predict, in accordance with the recommendations of the German Scientists, the possibility of structural transformation of cement in the solid state, which determines the durability of the composite material. **Findings.** The mass destruction of concrete sleepers on railways of Ukraine is becoming more frequent every year. Moreover, if such destruction in 2010 appears after 4-5 years of operation, in 2015 it is only after 2-3 years of installing the sleepers on the main railways. The nature of the destruction of concrete sleepers can be noted as many factors influence on it. The batches of cement and other raw materials

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

have been investigated before using with the standard methods in accredited laboratories of PAC «Ukrgeolbudm» (Kyiv) and received a positive evaluation for use in the production of concrete sleepers. However, a significant error in experimental data by standard methods not allowed revealing the critical properties of materials that adversely effect on the durability of rail base concrete. According to the research it was determined that the causes of mass destruction of sleepers are: 1) the inhomogeneity of the macrostructure of the concrete, as a consequence of the use of crushed rock of fraction 5-25 mm; 2) the impact of aggressive environment on the surface of the concrete sleepers; 3) the presence of a secondary structure of sleepers of large ettringite crystals prone to restructuring and the presence of alkaline silicic acid reaction products around the amorphous or those containing amorphous silica sand particles; 4) the exceeding of regulatory factor of the reduced alkalinity of dense and porous components of cement stone is respectively to 3.6 and 3.2 times; 5) saturation of the surface of sand particles of chlorine atoms, which are further accelerate and initiate the alkaline silicic acid reaction. **Originality.** The scientists firstly applied the author's proprietary express-method of studying the morphology and chemical composition of the structural components of concrete. **Practical value.** The application of the proposed research methodology and structure of raw materials in the concrete production cycle of enterprises will help to prevent the premature deterioration of concrete as a result of internal factors.

Keywords: reinforced-concrete slippers; crushed ballast; sand; cement; alkaline silicic acid reaction; microstructure; cement brick

REFERENCES

1. Rybkin V.V., Kovalenko V.V., Zaiats Yu.L., Pshinko P.O., Kovalenko S.V., Yakovliev V.O. Deiaki aspekty tekhnolohichnykh pryomiv vyrobnytstva ta kontroliu ekspluatatsiinoho resursu zalizobetonnykh shpal v Ukraini ta sviti [Some aspects of technological methods of production and control the service life of concrete sleepers in Ukraine and the world]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2012, no. 3/4, pp. 76-81.
2. Rybkin V.V., Kovalenko V.V., Zaiats Yu.L., Pshinko P.O., Kovalenko S.V., Yakovliev V.O. Doslidzhennia ekspluatatsiinoi stiihosti zalizobetonnykh shpal ta osnovni tekhnolohichni pryomy yii pokrashchennia [A study of the operational stability of concrete sleepers and basic technological methods of its improvement]. *Budivnytstvo Ukrainy – Construction of Ukraine*, 2011, no 4, pp. 19-23.
3. Rybkin V.V., Kovalenko V.V., Zaiats Yu.L., Pshinko P.O., Lysniak V.P., Yaryshkina L.O., Vasyliieva S.V. Doslidzhennia fizyko-khimichnykh vlastyvostei dribnykh zapovniuvachiv dlia vyrobnytstva zalizobetonnykh shpal [Research of physical and chemical properties of small fillers for production of ferro-concrete sleepers]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 140-145.
4. DSTU B V.2.7–46–2010. *Budivelni materialy. Tsementy zahalnobudivelnoho pryznachennia. Tekhnichni umovy* [State Standart B V. 2.7-46-2010. Building materials. Cements for General construction purposes. Specifications]. Kyiv, Ukrarkhbudininform Publ., 2011. 14 p.
5. DSTU B V.2.6–145:2010 (HOST 31384:2008, NEQ). *Konstruktzii budynkiv ta sporud. Zakhyst betonnykh i zalizobetonnykh konstruktzii vid korozii. Zahalni tekhnichni vymohy* [State Standart B V. 2.6-145:2010 (GOST 31384:2008, NEQ). Design of buildings and structures. Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion. General technical requirements]. Kyiv, Ukrarkhbudininform Publ., 2010. 52 p.
6. DSTU B V.2.6–57–2008. *Shpaly zalizobetonni poperedno napruzheni dlia zaliznyts kolii 1520 mm. Tekhnichni umovy* [State Standart B V. 2.6-57-2008. The prestressed reinforced concrete sleepers for railway track 1520 mm. Technical specifications]. Kyiv, NDIBK Publ., 2009. 28 p.
7. *Yevropeyskyi standart EN 1504. Materialy i systemy dlia remontu i zakhystu betonnykh konstruktzii* [European standard EN 1504. Materials and systems for repair and protection of concrete structures], 2009. Available at: http://emaco26.ru/d/180619/d/evropeyskiy_standart_en_1504.pdf (Accessed 20 November 2015).
8. Zolotarskiy A.F., Yevdokimov B.A., Isayev N.M. *Zhelezobetonnye shpaly dlia relsovogo puti* [Concrete sleepers for railway track]. Moscow, Transport Publ., 1980. 270 p.
9. Moshchanskiy N.A., Budnikova P.P. *Predstavleniye o prirode mineralnykh vyazhushchikh na osnove periodicheskogo zakona Mendeleyeva i ucheniya o metastabilnykh sostoyaniyakh: V knige Trudy soveshchaniya po khimii tsementa* [The idea of the nature of mineral binders on the basis of the periodic law of Mendeleev and the teachings of metastable states: Book Proc. of the meeting on the chemistry of cement]. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 1956. 518 p.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

10. Pluhin A.A., Pluhin A.M., Romanenko O.V. *Osoblyvoshvydkotverdnuchyi bezpropariuvalniyi beton* [Especially rapidly solidified concrete without the steam curing], no. a 2011 14838. 2011.
11. *Provedennia doslidzhen po vstanovlenniu prychyn ruinuvannia zalizobetonnykh shpal ta rozrobka rekomendatsii po pidvyshchenniu mitsnosti betonu* [The research conducting on establishment of the reasons of concrete sleepers destruction and the development of recommendations to improve the strength of concrete]. Dnipropetrovsk, 2011. 168 p.
12. Punagin V.N., Pshinko A.N., Rudenko N.N. *Beton v usloviyakh povyshennykh temperatur* [The concrete under the elevated temperatures]. Dnipropetrovsk, Art-Press Publ., 1999. 292 p.
13. Sanitskiy M.A. *Nekotoryye voprosy kristallokhimii tsementnykh mineralov* [Some problems of the crystal chemistry of cement minerals]. Kyiv, UMK VOYu Publ., 1990. 60 p.
14. *Tekhnichni vkazivky z vykorystannia staroprydatnykh materialiv verkhnoi budovy kolii na zaliznytsiakh Ukrainy: TsP-0150* [Technical guidance on the use of used materials of the permanent way on Railways of Ukraine: TsP-0150]. Kyiv, NKTB TSP UZ Publ., 2006. 56 p.
15. Uman N.I., Svatovskaya L.B., Ovchinnikova V.P. *Tverdeniye tsementnykh mineralov pri ponizhennykh temperaturakh* [The hardening of cement minerals at low temperatures]. *Tsement i ego primeneniye – Cement and its Application*, 1998, no. 5-6, pp. 26-28.
16. Shpynova L.G., Chikh V.I., Sanitskiy M.A. *Fiziko-khimicheskiye osnovy formirovaniya struktury tsementnogo kamnya* [Physico-chemical principles of cement stone structure formation]. Lviv, Vyscha shkola Publ., 1981. 160 p.
17. Shtark I., Vikht B. *Dolgovechnost betona* [Durability of concrete]. Kyiv, Oranta Publ., 2004. 295 p.
18. Galmarini S., Aimable A., Ruffray N., Bowen P. Changes in portlandite morphology with sol-vent composition: Atomistic simulations and ex-periment. *Cement and Concrete Research*, 2011, vol. 41, issue 12, pp. 1330-1338. doi:10.1016/j.cemconres.2011.04.009.
19. Hooto R.D. Current developments and future needs in standards for cementitious materials. *Cement and Concrete Research: Keynote papers from 14th Intern. Congress on the Chemistry of Cement (13.10.–16.10.2015)*, 2015, vol. 78, part A, pp. 165-177. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.05.022.
20. Klein D.H., Smith M.D. Homogeneous nucleation of calcium hydroxide. *Talanta*, 1968, vol. 15, issue 2, pp. 229-231. doi:10.1016/0039-9140(68)80227-9.
21. Ramachandran V.S., Sereda P.J., Feldman R.F. Mechanism of Hydration of Calcium Oxide. *Nature*, 1964, vol. 201, issue 4916, pp. 288-289. doi:10.1038/201288a0.
22. Tang S.W., Yao Y., Andade C., Li Z.J. Recent durability studies on concrete structure. *Cement and Concrete Research: Keynote papers from 14th Intern. Congress on the Chemistry of Cement (13.10.–16.10.2015)*, 2015, vol. 78, part A, pp. 143-154. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.05.021.
23. Scrivener K.L., Juilland P., Monterio P.J.M. Advances in understanding hydration of Portland cement. *Cement and Concrete Research: Keynote papers from 14th Intern. Congress on the Chemistry of Cement (13.10.–16.10.2015)*, 2015, vol. 78, part A, pp. 38-56. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.05.025.
24. Lohmus H., Rani A., Kallavus U., Reiska R. Trend to the Production of Calcium Hydroxide and Precipitated Calcium Carbonate with Defined Properties. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 2002, vol. 80, issue 5, pp. 911-919. doi: 10.1002/cjce.5450800514.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. М. Нетесою (Україна); д.т.н., проф. М. В. Савицьким (Україна)

Надійшла до редакції: 8.10.2015

Прийнята до друку: 30.11.2015

UDC 666.972:625.142.42

V. V. PRISTINSKAYA^{1*}

^{1*}Dep. «Management of Projects, Construction and Construction Materials», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 46, e-mail viktoriya_mega@mail.ru, ORCID 0000-0002-4820-9757

CONCRETE PROPERTIES IMPROVEMENT OF SLAB TRACKS USING CHEMICAL ADDITIVES

Purpose. On the Railways of Ukraine a very large number of slab tracks are operated with cracks. Many scientific works of previous years are dedicated to improving the design of slab tracks. The main causes of defects are: poor exploitation of the track; insufficient physic-mechanical characteristics of concrete; poor quality of initial materials. It is therefore necessary to develop an optimum concrete mix for the manufacture of these concrete products.

Methodology. To assess the impact of individual factors and effects of their interactions on properties of concrete mix and concrete method of experimental and statistical modeling was used. At this, methodological fundamentals of mathematical experiment planning in concrete technology and modern methods of optimization of composite materials were taking into account. Based on the obtained data during the planned experiment conducting, including 15 studies and using the computer program MathCad, were obtained the regression equations, which describe the relevant physical and mechanical properties of concrete. On the basis of the equations with the help of computer program MATLAB R2012b the graphs were drawn, illustrating the dependences of system response from the changes of two factors at a fixed value of the third factor. **Findings.** Firstly was the analysis of cracks that occur in the process of operation in the constructions of slab tracks. Further reasons of possible occurrence of these cracks were presented. In the process of the conducted research the author has concluded that for rational concrete mix development it is necessary to conduct the planned experiment with the use of quality materials. It was established that to increase the strength, chemical additives should be added in to concrete mix, it will let reduce cement amount.

Originality. Experiments proved the usage of modern chemical additives in order to improve the properties of concrete. Models were developed, reflecting characteristics of concrete strength. With their help one can optimize concrete composition. **Practical value.** Research proved that the usage of more sustainable concrete mix for production of slab tracks will increase their strength, and with it the reliability of these designs mechanical properties.

Keywords: slab tracks; deck of bridge; concrete sleepers; durability; crack strength; optimal concrete composition; damages; impact factors; stress; deformation; response model of system

Introduction

Durability of slab tracks (concrete sleepers, slabs of ballastless bridge deck (BBD) depends on many factors.

The main defects of slab tracks are cracks, located in different places and directions. Therefore it is necessary to determine the primary causes of their occurrence and make recommendations concerning the possible elimination of these defects.

The analysis of research materials and publications indicates that significant increase of concrete surfacing frost resistance can be achieved by formation of a certain material structure: to minimize the number of pores and achieve their anisotropic location; reduce internal stresses in the concrete through the use of non-shrink technologies, which will reduce the level of cracking growth. Experience examinations and tests of BBD, conducted at

Ukrzaliznytsia existing lines, shows that the slabs, which are produced nowadays are not reliable and durable. During a short operation period (approximately 5 years) they can get massive damages. Thus, there is a problem of insufficient crack resistance of slab tracks.

Purpose

To analyze previous experience regarding the occurrence of defects in slab tracks during the operational phase. To set forth results of the planned experiment. To improve the properties of concrete with specially matched complex chemical additives PLKP (ПЛКП).

Methodology

To assess the individual factors impact and effects of their interaction on the properties of the concrete mixture and concrete, the method of experimental and statistical modeling was used. At the same time methodological basis of experiment of mathematical planning in concrete technology and modern methods of composite materials optimization was taken into account. Based on the obtained results during the planned experiment, which included 15 experiments using the computer program MathCad, was received the regression equation, which describes relevant physical and mechanical characteristics of concrete. Based on the obtained equations, using a computer program MATLAB R2012b, graphics were drawn that reflect dependences of system response from two impact factors change at the fixed value of the third factor.

Statement of base line. The main defects, identified in concrete sleepers and BMP slabs are cracks, located in different places and directions.

As it shown in [3] the most common type of defect is split of sleepers along through longitudinal crack that runs through reinforcing bars (approximately 25% of the total detected ones), which, in turn, caused by insufficient physical and mechanical characteristics of concrete, both at the manufacturing stage of a slipper and at the stage of laying it in to the permanent way. The main causes of defect for this type is «culture» of sleeper manufacture; insufficient thickness of the protective layer of concrete; poor quality of materials, used for the concrete mix production; imperfect choice of the concrete; low quality of mixing, installation and vibration of concrete mix and the wrong choice of steam curing mode. Quality control of all these factors will significantly reduce the emergence of defects of this type.

The second most common operating defect is split of a slipper on a through longitudinal crack with the opening of more than 3 mm, passing through a hole for insert bolts (approximately 17% of the total detected ones). This defect can be ranged to those, arising from the poor-quality operation of a track. To prevent the occurrence of defects of this type one should regularly to carry out diagnostics and continuous insert bolts tightening.

The third and fourth types by the number of defects is fracture of the sleeper in the middle part

with concrete destruction, opening of transverse cracks or reinforcement break and fracture of the sleeper in the slab track with the destruction of concrete, opening of transverse cracks or reinforcement break (respectively 15% and 11% of the total detected ones). These defects of sleepers may arise as during the new construction and through the operating deficiency of the track.

Also common type of defect is the longitudinal crack with opening up to 3 mm, that comes through reinforcing bars at the ends and middle of sleepers (approximately 10.5% of the total detected ones). This defect occurs because of the same reasons that the split through longitudinal crack, so it is fair to say that preventive methods of this type of defect for them have to be identical. Other defects are less common.

So one can confirm that main causes of defects are poor operation of the track and insufficient physical and mechanical properties of materials for railway sleepers production.

Ballastless bridge deck (BBD) on the railway slabs has great stability of elements set. It protects upper chord of traffic areas and links between them from pollution and corrosion, ensure safety passage of wheel set across the bridge in case of derailment and it is economical by total value of production and laying. All this means massive use of BBD on concrete slabs in the construction of new bridges and reconstruction of railway ones that are operated. At the same time, during the examination many of the bridges, was found a large number of cracks in the concrete slab with shrinkage and power character.

There is typical sequence of cracks development and formation. Usually shrinkage cracks appear first on the lower or upper surface of the slab. Then under temporary load and depending on support conditions, shrinkage cracks on the slabs soffit grow in strength longitudinal or transverse ones relative to the axis. Further, due to the variable nature of slabs loads, cracks become through and are being developed along the axis from end to end or across the axis from high-strength pins to the ends of slabs. Also a large number of defective slabs with cracks was registered that pass diagonally through technological holes (for pins, counterangles) that significantly reduces longevity of bridge deck, and consequently, its reliability, increase operating costs [3, 9, 10, 11].

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

From the literature review it can be seen that many constructive solutions to improve the reliability of slabs of BBD were offered. But very little attention is paid to such problems as imperfect concrete, from which these slabs are produced, namely: the use of poor-quality aggregates, concrete mix heterogeneity, inadequate strength, frost and crack resistance of concrete.

As a result of all the above noted it can be concluded about the need to develop the optimal concrete composition for the manufacture of slabs both BMP (БМП) and concrete sleepers to improve their durability.

Results of the planned experiment. As the cement binder was used Amvrosiivskiy PTs I-500 N H that meets State Standard of Ukraine B.V.2.7-46: 2010 requirements «Building Materials. Cements for general purposes. Specifications».

As the aggregates were used the following materials: river sand with a fineness modulus of 1.28, which meets the requirements of State Standard of Ukraine B.V.2.7-32-95 «Fine aggregates for construction materials, products, structures and works. Specifications» and sand with fineness modulus of 2.8 according to All-Union State Standard B.V.2.7-210: 2010 «Sand from screenings of crushing igneous rocks for construction works. Specifications» and gravel, fractions 5-20 mm in accordance with All-Union State Standard B.V.2.7-75-98 «Building materials. Crushed stone and gravel are dense natural for building materials, products, structures and works. Specifications».

Experimentation let reduce the amount of experimental research and gain, at this, quite probable model system behavior.

Implementation of the planned experiment is conducted in the following sequence [2]:

- formulation the problem, main indicators choice of quality control of system functioning (outputs Y_i);
- the main factors choice influencing the system and the range of their changes by prior information;
- conducting the experimental studies by a fixed algorithm of a plan;
- statistical analysis of the results.

The factor is pacing to form certain characteristic or it has a significant positive effect. It does not have an extreme nature within reasonable variations, and, at the same time, affect negatively other

characteristics. Impact analysis change of this factor is necessary to establish its rational value, i.e. negative impact limit at maximum possible maintenance of positive one.

In the case when dependence of impact factor on fundamental characteristic of its action is extreme or close to it nature, at additional negative impact on other characteristics, stabilization of the factor in the extremum area is rational.

Determining the factors of the experiment and levels of their varying are presented in Table 1.

Table 1

Factors	Indexes	Levels of variation and natural values of factors		
		-1	0	+1
Cement content of, kg / m ³	X_1	350	400	450
Screening content, % by weight of fine aggregate	X_2	0	50	100
The content of additive PLKP, % by weight of binder	X_3	0	0,55	1,1

Obtained mathematical model in the processing of experimental results of interconnection between factors X_i , influencing the system, and system output Y_i , that are response on impacts, at checking its adequacy with sufficient probability reflects equation of objectively existing system state.

In this paper polynomial and experimental-statistical model of general form is used

$$\hat{Y} = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i X_i + \sum_{i < j} a_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k a_{ii} X_i^2$$

where, a_0 – value of system response at base level of factors; a_i – linear effect of factor X_i , which characterizes the average rate of system response change when factor control X_i in the range $-1 \leq X_i \leq +1$; a_{ii} – quadratic effect of factor X_i , which characterizes the acceleration system re-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

sponse change when factor control; a_{ij} – interaction effect, changing the average rate of system response change when factor control X_i , depending on level of the factor X_{i+1} .

Based on data, obtained at the planning experiment, which included 15 experiments with help of the computer program MathCad, was received regression equation, which describes relevant physical and mechanical characteristics of concrete.

Regression equations, obtained after models statistical analysis, allow observing individual and common impact factors on under study output parameters of the system.

Analysis of the resulting equations system of basic parameters changes will determine the permissible values of individual components content in the mixture and optimize the concrete mix.

The regression equation, which reflects the average compressive strength of samples after thermal and humidity treatment:

$$Y_1 = 399,773 + 50,045 \cdot X_1 - 9,829 \times \\ \times X_2 + 55,033 \cdot X_3 - \\ -8,142 \cdot X_1^2 + 17,372 \cdot X_2^2 - 5,682 \times \\ \times X_3^2 - 18,704 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\ -1,061 \cdot X_1 \cdot X_3 - 16,276 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

The regression equation, which reflects the average compressive strength of samples, at age of 7 days at hardening in natural environment:

$$Y_2 = 432,725 + 47,776 \cdot X_1 + \\ + 4,825 \cdot X_2 + 25,316 \cdot X_3 - \\ -13,263 \cdot X_1^2 - 15,018 \cdot X_2^2 + \\ + 7,197 \cdot X_3^2 - 18,951 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\ -3,631 \cdot X_1 \cdot X_3 + 2,731 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

The regression equation, which reflects the average compressive strength of samples at age of 28 days at hardening in natural environment:

$$Y_3 = 516,448 + 50,289 \cdot X_1 - \\ - 2,801 \cdot X_2 + 23,266 \cdot X_3 - \\ -7,893 \cdot X_1^2 - 12,733 \cdot X_2^2 + \\ + 30,122 \cdot X_3^2 - 14,475 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\ -0,193 \cdot X_1 \cdot X_3 - 4,412 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

Based on the obtained regression equations, using the computer program MATLAB R2012b, were constructed graphics that reflect system responses dependences from changes of two influencing factors in the fixed value of the third factor.

The strength of concrete is an important characteristic that determines its quality as a building material and the ability to resist destruction from internal stresses, that arise as a result of external loads. Therefore, was paid attention to concrete strength primarily at the planned experiment.

Compressive strength of concrete depends directly on activity of a binder (cement) and on its quantity in the mixture. However, high cement content affect the strength of concrete surface to some extent, after which it remains unchanged. In this case, shrinkage will increase and change the consistency of the concrete mix, increase the heat emission and temperature and shrinkage cracks will start appearing.

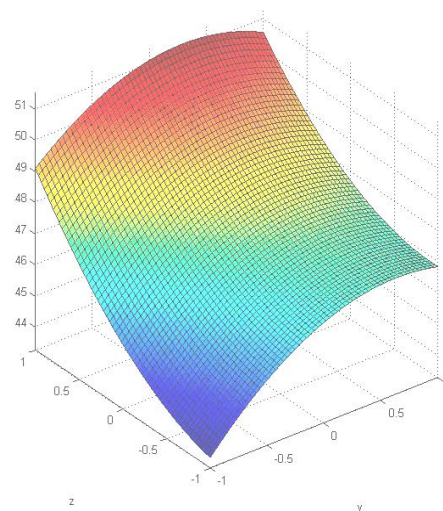


Fig. 1. Dependence model of system response (strength of concrete at the age of 28 days, MPa) on changes of influencing factors X_2 (% screening) and X_3 PLKP (ПЛКП) at fixed index X_1 (II) = -1.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

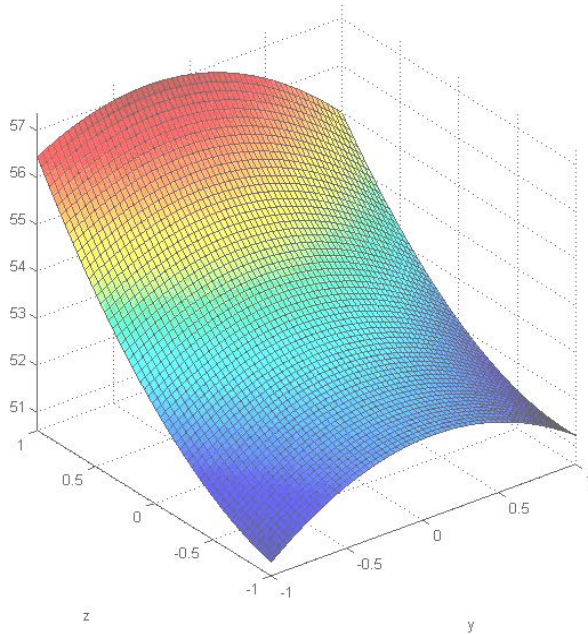


Fig. 2. Dependence model of system response (strength of concrete at the age of 28 days, MPa) on changes of influencing factors X_2 (% screening) and X_3 PLKP (ПЛКП) at fixed index X_1 (II) = 0.

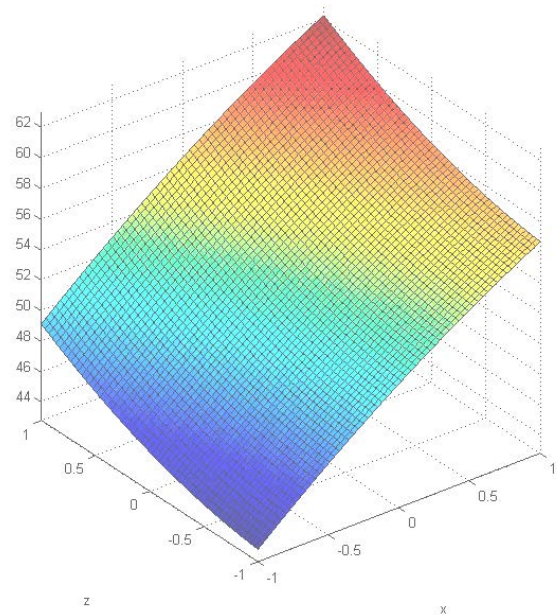


Fig. 4. Dependence model of system response (strength of concrete at the age of 28 days, MPa) on changes of influencing factors X_1 (% cement) and X_3 PLKP (ПЛКП) at fixed index X_2 (% screening) = -1.

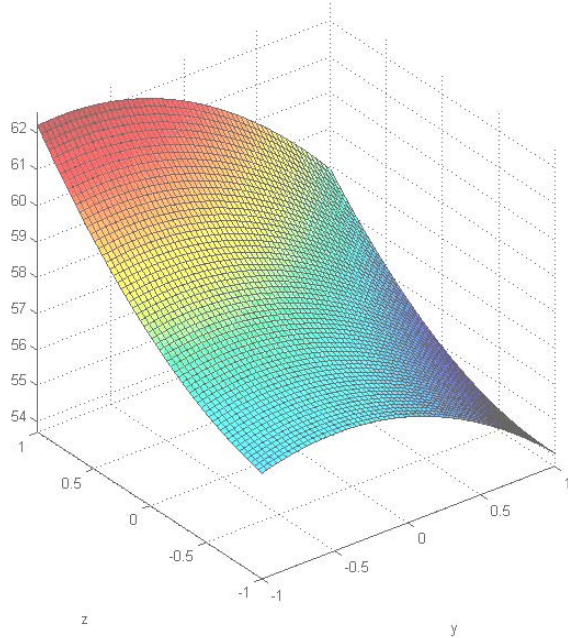


Fig. 3. Dependence model of system response (strength of concrete at the age of 28 days, MPa) on changes of influencing factors X_2 (% screening) and X_3 PLKP (ПЛКП) at fixed index X_1 (II) = 1.

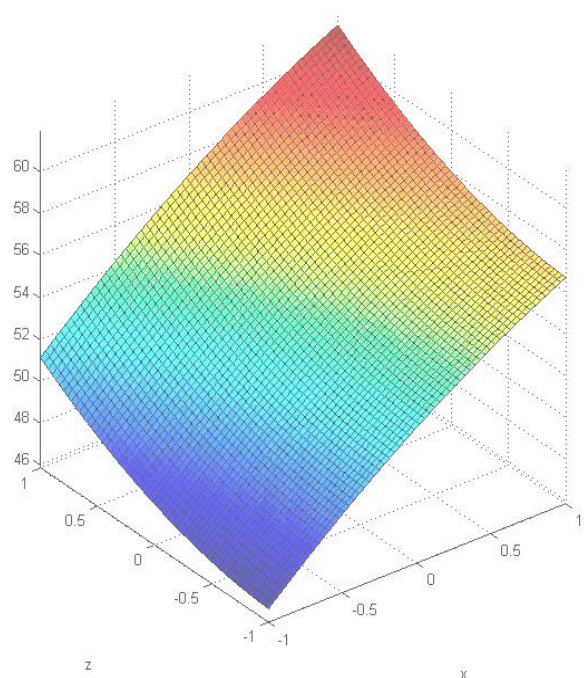


Fig. 5. Dependence model of system response (strength of concrete at the age of 28 days, MPa) on changes of influencing factors X_1 (% cement) and X_3 PLKP (ПЛКП) at fixed index X_2 (% screening) = 0.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

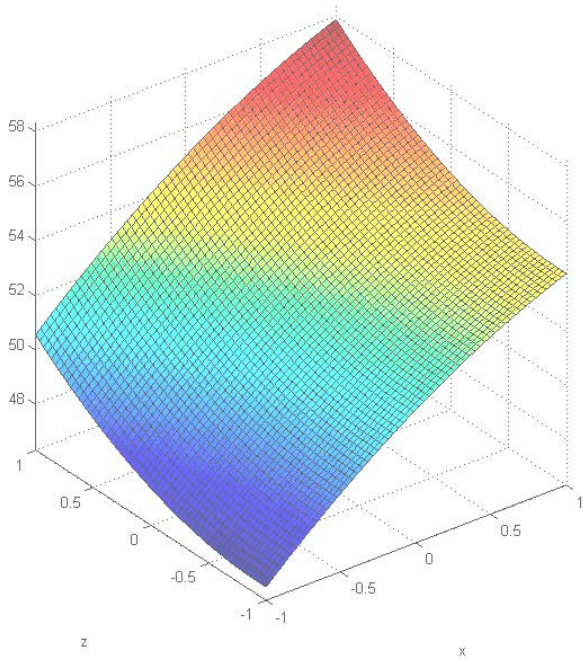


Fig. 6. Dependence model of system response (strength of concrete at the age of 28 days, MPa) on changes of influencing factors X_1 (% cement) and X_3 PLKP (ПЛКП) at fixed index X_2 (% screening) = 1.

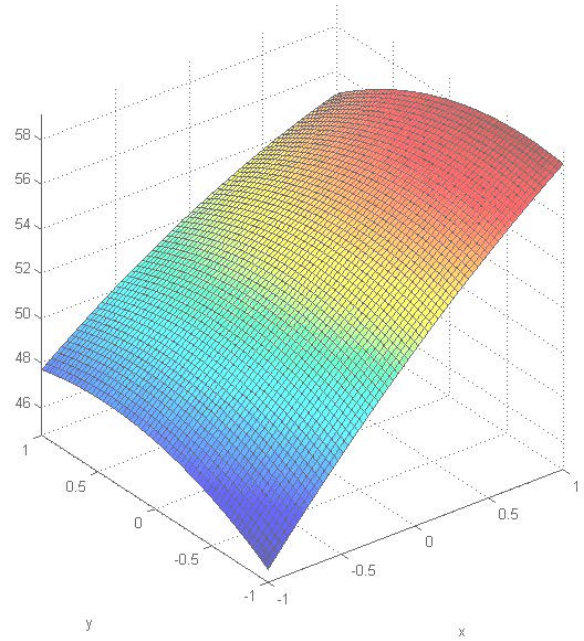


Fig. 8. Dependence model of system response (strength of concrete at the age of 28 days, MPa) on changes of influencing factors X_1 (% cement) and X_2 (% screening) at fixed index X_3 PLKP (ПЛКП) = 0.

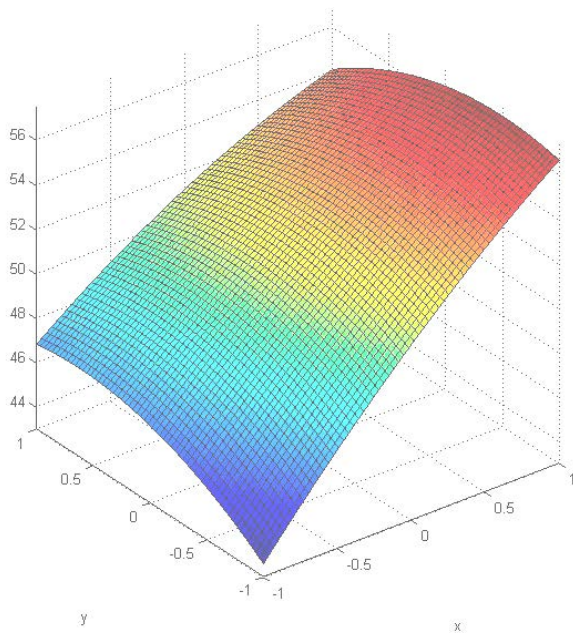


Fig. 7. Dependence model of system response (strength of concrete at the age of 28 days, MPa) on changes of influencing factors X_1 (% cement) and X_2 (% screening) at fixed index X_3 PLKP (ПЛКП) = -1.

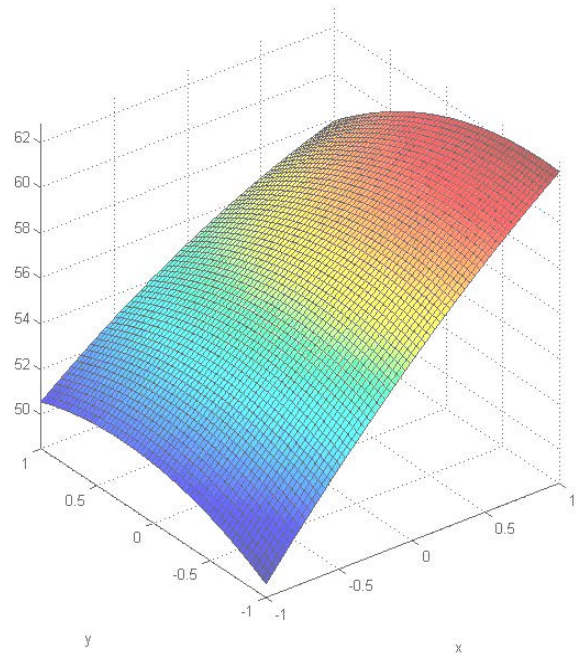


Fig. 9. Dependence model of system response (strength of concrete at the age of 28 days, MPa) on changes of influencing factors X_1 (% cement) and X_2 (% screening) at fixed index X_3 PLKP (ПЛКП) = 1.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Originality and practical value

Models were obtained that represent characteristics of concrete strength depending on change in each of three selected impact factors.

The practical value is to develop rational concrete mix for implementation the production of concrete sleepers and slabs of ballastless bridge deck.

Conclusions

In research it has been found that use of screening of 50% from total mass of fine aggregate is optimal, since at this ratio one can get optimal concrete mix placing and provide increased durability of concrete, compared with the use of fine sand.

In the experiment was used PLKP (ПЛКП) complex chemical additive, which has changed slightly the cement stone structure. It led to properties improvement of concrete. Composition of additives were chosen specially for use in the concrete preparation of slab tracks.

In the future conduction of more detailed experiment in order to get such concrete mixture is planned. It will have the necessary characteristics of strength, water resistance, frost resistance, crack resistance, and which can be recommended for the production of concrete sleepers and BBS slabs.

LIST OF REFERENCE LINKS

- Афанасьев, Н. Ф. Добавки в бетоны и растворы / Н. Ф. Афанасьев, М. К. Целуйко. – Київ : Будівельник, 1989. – 128 с.
- Вознесенский, В. А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ : учебник / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Б. Л. Огарков. – Киев : Вища шк., 1989. – 328 с.
- Дослідження експлуатаційного ресурсу попередньо напружених залізобетонних шпал українського виробництва / В. В. Рибкін, Ю. Л. Заяць, В. В. Коваленко, П. О. Пшінько // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 39. – 2011. – С. 173–179.
- ДСТУ Б. В.2.7-46-96. Будівельні матеріали. Цементи загально будівельного призначення. Технічні умови. – Київ : Держкоммістобудування України, 1996. – 15 с.
- ДСТУ Б. В.2.7-65-97. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Класифікація. – Київ : Держкоммістобудування України, 2000. – 15 с.
- Касторных, Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы : учебно-справоч. пособие / Л. И. Касторных. – Ростов на Дону : Феникс, 2007. – 221 с.
- Коваленко, В. В. Структурообразование в модифицированных бетонах / В. В. Коваленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 157–163.
- Методические указания по применению теории планирования эксперимента при конструировании строительных материалов с заданными свойствами. – Днепропетровск : ДИИТ, 1989. – 24 с.
- Мірошніченко, С. В. Дослідження напруг і деформацій у плитах безбаластного мостового полотна / С. В. Мірошніченко // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Харків, 2009. – Вип. 109. – С. 113–119.
- Мірошніченко, С. В. Механізм тріщиноутворення у плитах безбаластного мостового полотна / С. В. Мірошніченко // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Харків, 2011. – Вип. 125. – С. 160–164.
- Систематизація пошкоджень залізобетонних плит безбаластного мостового полотна залізничних мостів / А. А. Пługін, С. В. Мірошніченко, О. А. Забіяка [та ін.] // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Харків, 2009. – Вип. 109. – С. 120–130.
- Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – Influence of the use of superplasticizers / D. Matias, J. de Brito, A. Rosa, D. Pedro // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 44. – P. 101–109. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.011.
- Nagrockiene, D. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties / D. Nagrockiene, I. Pundiene, A. Kicaite // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 45. – P. 324–331. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.076.

В. В. ПРИСТИНСЬКА^{1*}

^{1*}Каф. «Управління проектами, будівлі та будівельні матеріали», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 46, ел. пошта viktoriya_mega@mail.ru, ORCID 0000-0002-4820-9757

ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ ПІДРЕЙКОВИХ ОСНОВ ЗА ДОПОМОГОЮ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК

Мета. На залізницях України дуже велика кількість підрейкових основ експлуатується з тріщинами. Багато наукових робіт попередніх років присвячено вдосконаленню саме конструкції підрейкових основ. Основними причинами виникнення дефектів є: незадовільна експлуатація колії; недостатні фізико-механічні характеристики бетону; низька якість вихідних матеріалів. Тому в роботі необхідно розробити оптимальний склад бетону для виготовлення цих залізобетонних виробів. **Методика.** Для оцінки впливу окремих факторів та ефектів їх взаємодії на властивості бетонної суміші та бетону використовувався метод експериментально-статистичного моделювання. При цьому враховувались методологічні основи математичного планування експерименту в технології бетону та сучасні методи оптимізації композиційних матеріалів. На основі даних, отриманих в результаті проведення планованого експерименту, котрий включав у себе 15 експериментів за допомогою комп'ютерної програми MathCad, було отримано рівняння регресії, за якими описуються відповідні фізико-механічні характеристики бетону. На основі отриманих рівнянь за допомогою комп'ютерної програми MATLAB R2012b було побудовано графіки, які відображають залежності відгуків системи від зміни двох факторів впливу при фіксованому значенні третього фактору. **Результати.** Спочатку було проведено аналіз тріщин, які виникають у процесі експлуатації в конструкціях підрейкових основ. Далі надано причини можливого виникнення цих тріщин. В процесі проведених досліджень автором зроблено висновок, що для розробки раціонального складу бетону треба провести планований експеримент із використанням якісних матеріалів. У результаті цього встановлено, що для підвищення міцності необхідне введення хімічних добавок до складу бетону, що дозволяє знизити кількість цементу. **Наукова новизна.** Експериментально встановлено використання сучасних хімічних добавок для покращення властивостей бетону. Розроблено моделі, що відображають характеристики міцності бетону, за допомогою яких можна оптимізувати склад бетонної суміші. **Практична значимість.** Дослідженням встановлено, що використання більш раціонального складу бетону для виготовлення підрейкових основ дозволить підвищити їх міцність, а разом із цим і надійність цих конструкцій.

Ключові слова: підрейкові основи; мостове полотно; залізобетонні шпали; довговічність; тріщиностійкість; оптимальний склад бетону; дефекти; фактори впливу; напруга; деформація; модель відгуку системи

В. В. ПРИСТИНСКАЯ^{1*}

^{1*}Каф. «Управление проектами, здания и строительные материалы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 46, эл. почта viktoriya_mega@mail.ru, ORCID 0000-0002-4820-9757

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА ПОДРЕЛЬСОВЫХ ОСНОВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК

Цель. На железных дорогах Украины очень большое количество подрельсовых оснований эксплуатируется с трещинами. Много научных работ предыдущих лет посвящено совершенствованию именно конструкции подрельсовых оснований. Основными причинами возникновения дефектов являются: неудовлетворительная эксплуатация пути; недостаточные физико-механические характеристики бетона; низкое качество исходных материалов. Поэтому в работе необходимо разработать оптимальный состав бетона для изготовления этих железобетонных изделий. **Методика.** Для оценки влияния отдельных факторов и эффектов их взаимодействия на свойства бетонной смеси и бетона использовался метод экспериментально-статистического моделирования. При этом учитывались методологические основы

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

математического планирования эксперимента в технологии бетона и современные методы оптимизации композиционных материалов. На основе данных, полученных в результате проведения планируемого эксперимента, включающего в себя 15 исследований с помощью компьютерной программы MathCad, были получены уравнения регрессии, по которым описываются соответствующие физико-механические характеристики бетона. На основе полученных уравнений с помощью компьютерной программы MATLAB R2012b были построены графики, отражающие зависимости откликов системы от изменения двух факторов при фиксированном значении третьего фактора. **Результаты.** Сначала был проведен анализ трещин, которые возникают в процессе эксплуатации в конструкциях подрельсовых оснований. Далее предоставлены причины возможного возникновения этих трещин. В процессе проведенных исследований автором сделан вывод, что для разработки рационального состава бетона нужно провести планируемый эксперимент с использованием качественных материалов. В результате этого установлено, что для повышения прочности необходимо введение химических добавок в состав бетона, что позволяет снизить количество цемента. **Научная новизна.** Экспериментально установлено использование современных химических добавок для улучшения свойств бетона. Разработаны модели, отражающие характеристики прочности бетона, с помощью которых можно оптимизировать состав бетонной смеси. **Практическая значимость.** Исследование доказало, что использование более рационального состава бетона для изготовления подрельсовых оснований позволит повысить их прочность, а вместе с этим, и надежность этих конструкций.

Ключевые слова: подрельсовые основания; мостовое полотно; железобетонные шпалы; долговечность; трещиностойкость; оптимальный состав бетона; дефекты; факторы влияния; напряжение; деформация; модель отклика системы

REFERENCES

1. Afanasev N.F., Tseluyko M.K. *Dobavki v betony i rastvory* [Additives in concrete and mortars]. Kyiv, Budivelnik Publ., 1989. 128 p.
2. Voznesenskiy V.A., Lyashenko T.V., Ogarkov B.L. *Chislennyye metody resheniya stroitelno-tekhnologicheskikh zadach na EVM* [Numerical methods of solving the construction and technological objectives of the computers]. Kiev, Vishcha shkola Publ., 1989. 328 p.
3. Rybkin V.V., Zaiats Yu.L., Kovalenko V.V., Pshinko P.O. *Doslidzhennia ekspluatatsiinoho resursu poperedno napruzhenykh zalizobetonnykh shpal ukrainskoho vyrobnytstva* [Research of the operating life of prestressed concrete sleepers of Ukrainian production]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 39, pp. 173-179.
4. DSTU B. V.2.7-46-96. *Budivelni materialy. Tsementy zahalno budivelnogo pryznachennia. Tekhnichni umovy* [State Standard B V.2.7-46-96. Construction Materials. Cements for general construction purposes. Technical conditions]. Kyiv, Derzhkommistobuduvannia Ukrainy Publ., 1996. 15 p.
5. DSTU B. V.2.7-65-97. *Dobavky dlia betoniv i budivelnnykh rozchyniv. Klasyfikatsiia* [State Standard V.2.7-65-97. Additives for concrete and mortars. Classification]. Kyiv, Derzhkommistobuduvannia Ukrainy Publ., 2000. 15 p.
6. Kastornyykh L.I. *Dobavki v betony i stroitelnyye rastvory* [Additives for concrete and mortars]. Rostov on Don, Feniks Publ., 2007. 221 p.
7. Kovalenko V.V. *Strukturoobrazovaniye v modifitsirovannykh betonakh* [Structure formation in modified concretes]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 157-163.
8. *Metodicheskiye ukazaniya po primeneniyu teorii planirovaniya eksperimenta pri konstruirovani stroitelnykh materialov s zadannymi svoystvami* [Guidelines for use of the theory of planning of experiment at designing of building materials with the set properties]. Dnipropetrovsk, DIIT Publ., 1989. 24 p.
9. Miroshnichenko S.V. *Doslidzhennia napruh i deformatsii u plytakh bezbalastnoho mostovoho polotna* [The study stresses and strains in slabs of the bridge deck]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2009, issue 109, pp. 113-119.
10. Miroshnichenko S.V. *Mekhanizm trishchynoutvorennia u plytakh bezbalastnoho mostovoho polotna* [Mechanism of cracks in slabs of the bridge deck]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii*

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- zaliznychnoho transportu* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2011, issue 125, pp. 160-164.
11. Pluhin A.A., Miroshnichenko S.V., Zabiaka O.A., Lynnyk H.O., Babenko A.I. Systematyzatsiia poshkodzen zalizobetonnykh plyt bezbalastnoho mostovoho polotna zaliznychnykh mostiv [Systematization of the damages of concrete slabs the bridge deck railway bridges]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2009, issue 109, pp. 120-130.
 12. Matias D., Brito J.de, Rosa A., Pedro D. Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – influence of the use of superplasticizers. *Construction and Building Materials*, 2013, vol. 44, pp.101–109. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.011.
 13. Nagrockiene D., Pundiene I., Kicaite A. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties. *Construction and Building Materials*, 2013, vol. 45, pp. 324-331. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.076.

Prof. O. M. Pshinko, Sc. Tech. (Ukraine); Prof. S. A. Shcherbak, Sc. Tech. (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: 16 Sep., 2015

Received: 11 Nov., 2015

УДК 666.94.015.7

Д. В. РУДЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Міське будівництво та господарство», Запорізька державна інженерна академія, пр. Леніна, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (098) 214 04 85, ел. пошта veberc@ukr.net, ORCID 0000-0003-0827-042X

**ФІЗИКО-ХІМІЧНА МОДИФІКАЦІЯ ЦЕМЕНТНОЇ СИСТЕМИ
МОНОЛІТНОГО БЕТОНУ**

Мета. Робота спрямована на розробку наукових основ технології модифікованого бетону нового покоління для споруд спеціального призначення за рахунок управління процесами структуроутворення модифікованої цементної системи у природних умовах тверднення. **Методика.** Для досягнення поставленої мети: 1) проведені дослідження реологічних характеристик модифікованих бетонних сумішей для споруд спеціального призначення та процесів структуроутворення модифікованої цементної системи бетону природного тверднення; 2) визначені методи надійної оцінки міцності бетону у момент зняття лаштунку й передачі навантаження на конструкції, в яких бетон не досяг проектною міцності. **Результати.** Автором встановлено, що у модифікованій цементній системі, що гідратується, у результаті взаємодії різних макроіонів розвивається структуроутворюючий процес із перевагою активних частин, які значно перевищують його дисипативну частину у порівнянні з нормальними умовами тверднення. **Наукова новизна.** Встановлені закономірності структуроутворення модифікованої цементної системи, армованої синтезованими добре закристалізованими спіралеподібними ниткоподібними кристалами, механічне зчеплення яких розглядається як основне джерело створення міцності у сукупності з додатковим зчепленням, що досягається в результаті взаємного проростання кристалів. **Практична значимість.** У процесі дослідження розглянуто підвищення в'язучого потенціалу цементу у високоміцних бетонах та використання модифікованих цементних систем в особливих умовах бетонування. Розроблений орґано-мінеральний модифікуючий комплекс, що забезпечує дисперсне армування цементної матриці бетону. Він дозволяє, змінюючи природу поверхні в'язучої речовини і модифікатора, модифікувати процес структуроутворення цементної матриці. Температурний фактор не чинить негативного впливу на бетон, що твердне, а комплексний модифікатор забезпечує поліпшення фізико-механічних характеристик цементної матриці й бетону за рахунок первинної зміни стану системи. У модифікованій цементній системі, що гідратується, в результаті взаємодії різних макроіонів розвивається структуроутворюючий процес із перевагою активних частин, які значно перевищують його дисипативну частину в порівнянні з нормальними умовами тверднення. Результати, отримані при моделюванні поведінки модифікованої цементної системи, що гідратується, показують, що у системі спостерігаються коливання концентрації проміжних продуктів гідратації, які ототожнюються з виникненням просторово-часової структури.

Ключові слова: цементна система; модифікація; структуроутворення; бетон

Вступ

Можливість підвищення експлуатаційних характеристик бетону для монолітного будівництва відкривається з переходом до принципово нової технології, заснованої на застосуванні фундаментальних принципів взаємодії компонентів в'язучої системи в бетоні [16–19, 20, 24]. Це забезпечується модифікуванням компонентів цементної системи, що сприяє підвищенню ступеня гідратації в'язучої речовини й спрямованому структуроутворенню цементної матриці бетону [6, 8, 10–13].

На основі виконаних експериментально-теоретичних досліджень зроблено висновок про

доцільність об'єднання декількох типів активаційних впливів на цементну систему бетону. Прийнято положення, що одержання монолітних бетонів з високими експлуатаційними властивостями (ВЕВ) має ґрунтуватися на фізико-хімічному модифікуванні цементної системи бетону. Такий спосіб об'єднує фізичну активацію цементної системи з інтенсивною хімічною взаємодією кристалогідратних новоутворень з речовинами, що вводяться у цементну систему як мінеральні дисперсноармуючі компоненти у складі спеціального орґано-мінерального модифікуючого комплексу (ОММК).

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Мета

Розробка наукових основ технології модифікованого бетону нового покоління для споруд спеціального призначення за рахунок управління процесами структуроутворення модифікованої цементної системи у природних умовах тверднення.

Методика

Для досягнення поставленої мети виконано дослідження реологічних характеристик модифікованих бетонних сумішей для споруд спеціального призначення; процесів структуроутворення модифікованої цементної системи бетону природного тверднення; визначено методи надійної оцінки міцності бетону у момент зняття опалубки й передачі навантаження на конструкції, в яких бетон не досяг проектною міцності.

Результати

Фізико-хімічне модифікування цементної системи бетону визначає можливість регулювання її властивостей, що дозволяє поряд з інтенсифікацією тверднення спрямовано оптимізувати структуру цементної матриці бетону. Цей процес забезпечує ріст міцності бетону при стиску й, особливо, при згині, що забезпечує підвищення довговічності бетону. Фізико-хімічна модифікація цементної системи дозволила виявити додаткові резерви поліпшення реологічних і міцнісних властивостей бетонної суміші і бетону за рахунок прикладення технологічних впливів певної інтенсивності, конгруентних фізико-хімічним умовам перебігу процесів гідратації цементної системи [22].

Вирішення поставленої проблеми є актуальним для розвитку технології зведення монолітних будівель в Україні.

Теорія гідратаційного структуроутворення все ще не стала «динамічною теорією» і значною мірою залишається «кінематичною схемою», що тільки пов'язує між собою параметри системи, але практично не визначає механізму її зміни й оптимальності структуроутворення [9, 17, 23]. У ході досліджень зроблено висновки про існування резерву керування цими процесами. Це особливо важливо за необхідності одержання бетонів ВЕБ [14, 15].

Процеси прискорення тверднення монолітного бетону дозволяють скоротити використання опалубки до доби, якщо після початкової активації вони тривають у режимі відводу тепла [1, 2, 5].

Модифікування цементної системи бетону для монолітного будівництва передбачає вплив на хімічні процеси, що відбуваються при гідратації клінкерних мінералів і структуроутворенні цементної матриці [3, 21]. Тому вибір модифікаторів здійснювався з урахуванням їх хімічної активності стосовно клінкерних мінералів, особливо алюмінатів кальцію [4, 7, 9].

Попередні дослідження показали доцільність введення до складу органо-мінерального модифікуючого комплексу (ОМК) цементної системи бетону спеціально синтезованих сполук $Mg_2(OH)_3Cl \cdot 4H_2O$ і $Mg_3(OH)_5Cl \cdot 4H_2O$, що є основними продуктами реакції в системі $MgO - MgCl_2 - H_2O$ в нормальних умовах тверднення. Ці сполуки виконують роль дисперсного армуючого компонента цементної матриці бетону.

Гідрат хлороксиду магнію утворюється у формі добре закристалізованих голок, які описані як спіралеподібні трубчасті ниткоподібні кристали. Механічне зчеплення цих ниткоподібних кристалів розглядається як основне джерело створення міцності поряд з додатковим зчепленням, що досягається в результаті взаємного проростання кристалів, коли вони стикаються один з одним. Уповільнене тужавіння і швидке тверднення модифікованої цементної системи бетону дозволяє використовувати такі бетонні суміші для бетононасосного транспорту та транспортувати їх на великі відстані під час зведення монолітних будівель.

Дослідження утворення і перетворення фаз гідратів хлороксиду магнію виконувалися на зразках, виготовлених з різними відношеннями $MgO/MgCl_2$ і постійним масовим відношенням $H_2O/MgO=2$. Результати досліджень наведено у табл. 1.

Дослідженнями встановлено, що утворення і перетворення фаз гідратів хлороксиду магнію є функцією відношення $MgO/MgCl_2$. При молярному відношенні $MgO/MgCl_2 < 4$ утворюється $Mg_3(OH)_5Cl \cdot 4H_2O$ з надлишком $MgCl_2$.

Таблиця 1

Утворення і перетворення фаз у системі $\text{MgO} - \text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$

Table 1

The formation and transformation of phases in the system $\text{MgO} - \text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$

Молярне відношення	Час, діб	Ідентифіковані фази				
		MgO	Mg(OH) ₂	Mg ₃ (OH) ₅ Cl·4H ₂ O	Mg ₂ (OH) ₃ Cl·4H ₂ O	MgCl ₂ ·2MgCO ₃ ·Mg(OH) ₂ ·6H ₂ O
MgO/MgCl ₂ : 3	1/12 (2 год)	++	—	+++		
	1	Сліди	—	+++	+	Сліди
	5	—	—	++	++	те саме
	8	—	—	+	+++	«
	15	—	—			
4	1/8 (3 год)	+	—	+		
	1	+	—	++		Сліди
	4			+++		
	66			+++		
5	1/6 (4 год)	+	+	++		
	1		Сліди	+++		
	7			+++		
6	127		+	+++	Сліди	++
7	1		+++			
	9		+++	++	Сліди	Сліди
	22		++		+	
	62		++		+	
8	1		+++			
	29	++	+++	+	++	+
	69		++	++	+	++
	75		++	Сліди	+	
	128		+++		Сліди	
Mg(OH) ₂ / MgCl ₂ =5	10		+++			

Примітка: + невелика кількість, ++ середня кількість, +++ велика кількість.

З часом $\text{Mg}_3(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ перетворюється у $\text{Mg}_2(\text{OH})_3\text{Cl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Швидкість перетворення зростає при зниженні відношення MgO/MgCl_2 . Стійка сполука $\text{Mg}_3(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ утворюється при молярному відношенні $4 < \text{MgO}/\text{MgCl}_2 < 6$. Якщо замість MgO з розчином MgCl_2 реагує $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (при молярному відношенні $\text{Mg}(\text{OH})_2/\text{MgCl}_2=5$), то переважаючою фазою є $\text{Mg}_2(\text{OH})_3\text{Cl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Сполуки $\text{Mg}(\text{OH})_2$ і $\text{Mg}_2(\text{OH})_3\text{Cl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ утворюються при молярно-

му відношенні $\text{MgO}/\text{MgCl}_2 > 6$. При такому відношенні сполука $\text{Mg}_2(\text{OH})_3\text{Cl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ нестійка і перетворюється у $\text{Mg}_3(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Швидкість реакції перетворення низька і зменшується при збільшенні відношення MgO/MgCl_2 . З часом кількість $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ збільшується у всіх зразках в результаті реакції з атмосферним CO_2 .

Мікроструктура новоутворень цементної системи з хлороксидом магнію (у межах стабі-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

льності $Mg_3(OH)_5Cl \cdot 4H_2O$ як переважаючої фази) досліджувалася на зразках, виготовлених з теоретично розрахованою кількістю води, необхідної для проектного ступеня гідратації, і молярним відношенням $MgO/MgCl_2=5,68$. Спостереження за допомогою скануючого електронного мікроскопа виконані на поверхнях зламів, отриманих при розриві висушених зразків, покритих шаром сплаву, що складається з 60 % Au і 40 % Pd.

Результати досліджень дозволили висунути таку гіпотезу розвитку мікроструктури модифікованої цементної системи. Кристали гідрату хлороксиду магнію швидко ростуть в просторі між гідратними новоутвореннями клінкерних мінералів. У результаті цього виникає механічне зчеплення, яке зумовлює розвиток початкової міцності і жорсткості. Оскільки для вільного росту кристалів недостатньо простору, то кристали взаємно проростають, утворюючи щільну структуру, яка зумовлює зростання міцності. Утворення голчастих кристалів не розглядається як безумовна вимога для тверднення. Міцність залежить від утворення продуктів реакції, які заповнюють вільний простір, що призводить до формування щільної мікроструктури з мінімальною пористістю. Очевидно, сприяє цьому характерне зростання голчастих і ниткоподібних кристалів. Крива наростання границі міцності модифікованої цементної системи наведена на рис. 1 у зіставленні з аналогічною кривою цементного тіста.

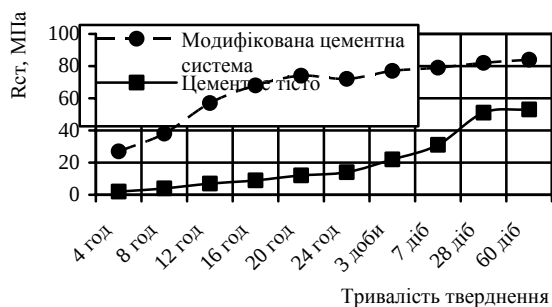


Рис. 1. Кінетика зміни міцності при стисненні цементної матриці бетону

Fig.1. The kinetics of the changes in the compressive strength of the cement matrix of concrete

У дослідженнях використаний портландцемент М 500. Різниця в наростанні міцності очевидна. Оскільки немає помітної зміни в мікроструктурі, зменшення міцності зразків модифі-

кованої цементної системи, яке тимчасово відбувалося у віці 1 доби, можна пояснити напруженням при розтяганні, викликаним усадкою, яка спостерігалася через 1 добу тверднення. Раннє зростання міцності зразків цементної системи з хлороксидом магнію у перші 24 год відповідає спостереженням, виконаним за допомогою скануючого електронного мікроскопа. Поява перших голчастих кристалів виявлена через 2 год після приготування модифікованої цементної системи, перш ніж система почала набирати міцність (рис. 2). До 4 год ріст кристалів значно прискорився, що призвело до утворення мікроструктури, наведеної на рис. 3. Надалі мікроструктура не показала ніяких змін, за винятком поступового зменшення пористості.



Рис. 2. Фотографія мікроструктури модифікованої цементної системи у віці 2 год (x3 000)

Fig. 2. A photograph of the microstructure of the modified cement system at the age of 2 h (X3 000)

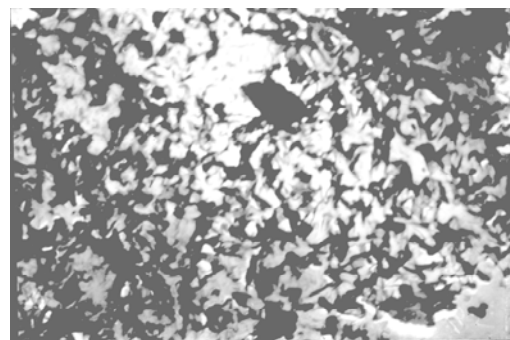


Рис. 3. Фотографія мікроструктури модифікованої цементної системи у віці 4 год (x2 000)

Fig. 3. A photograph of the microstructure of the modified cement system at the age of 4 h (X2 000)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

З викладеного можна зробити висновок: при молярному відношенні $b > \text{MgO}/\text{MgCl}_2 > 4$ переважає стійка кристалічна фаза $\text{Mg}_3(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Ця фаза при твердненні монолітного бетону за позитивних температур під дією атмосферного CO_2 повільно переходить у $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Це перетворення відбувається переважно на поверхні і незначно впливає на міцність модифікованої цементної матриці бетону. Якщо бетон піддається впливу дощу, то переважною фазою на його поверхні є сполука $4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, як це було виявлено в зразку-призмі розміром $4 \times 4 \times 16$ см. Усередині цього зразка переважаючою фазою був гідрат $\text{Mg}_3(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, але, крім того, були присутні $\text{Mg}(\text{OH})_2$ і $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Механічні властивості цементної системи з мінеральним модифікатором при різних відношеннях MgO/MgCl_2 і при постійному молярному відношенні $\text{H}_2\text{O}/\text{MgO} = 3,5$ (або $1,56$ – масове відношення) наведені на рис. 4.

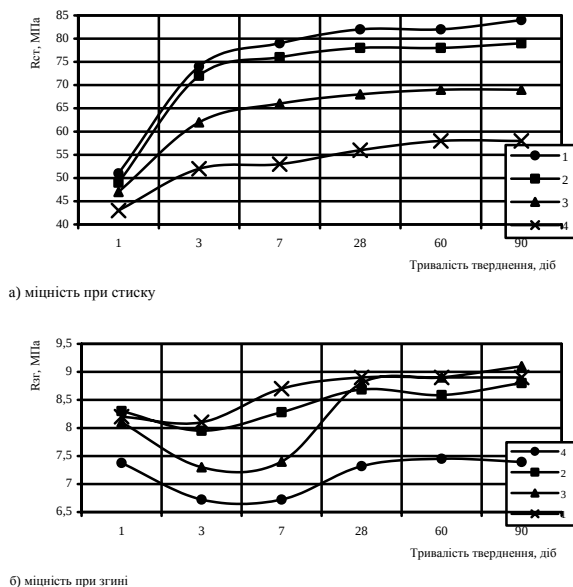


Рис. 4. Кінетика зміни міцності модифікованої мінеральним компонентом цементної системи з різним молярним відношенням MgO/MgCl_2 :
1 – $\text{MgO}/\text{MgCl}_2 = 5,4$; 2 – $\text{MgO}/\text{MgCl}_2 = 5,9$;
3 – $\text{MgO}/\text{MgCl}_2 = 6,38$; 4 – $\text{MgO}/\text{MgCl}_2 = 6,85$

Fig. 4. The kinetics of the changes in strength of the modified mineral component in cement systems with different molar ratio of MgO/MgCl_2 :
1 – $\text{MgO}/\text{MgCl}_2 = 5,4$; 2 – $\text{MgO}/\text{MgCl}_2 = 5,9$;
3 – $\text{MgO}/\text{MgCl}_2 = 6,38$; 4 – $\text{MgO}/\text{MgCl}_2 = 6,85$

Кращі результати отримані на зразках з молярним відношенням $\text{MgO}/\text{MgCl}_2 = 5,4$ і $5,9$.

Наукова новизна та практична значимість

Встановлені закономірності структуроутворення модифікованої цементної системи, армованої синтезованими добре закристалізованими спіралеподібними ниткоподібними кристалами, механічне зчеплення яких розглядається як основне джерело створення міцності у сукупності з додатковим зчепленням, що досягається в результаті взаємного проростання кристалів.

Запропонована технологія забезпечує підвищення в'язучого потенціалу цементу у високоміцних бетонах та використання модифікованих цементних систем в особливих умовах бетонування. Розроблений органо-мінеральний модифікуючий комплекс, що забезпечує дисперсне армування цементної матриці бетону, який дозволяє, змінюючи природу поверхні в'язучої речовини і модифікатора, модифікувати процес структуроутворення цементної матриці. Температурний фактор не чинить негативного впливу на бетон, що твердне, а комплексний модифікатор забезпечує поліпшення фізико-механічних характеристик цементної матриці й бетону за рахунок первинної зміни стану системи.

Висновки

1. Розроблений органо-мінеральний модифікуючий комплекс, що забезпечує дисперсне армування цементної матриці бетону. Введення у цементну систему хімічно активних компонентів поліфункціональної дії дозволяє, змінюючи природу поверхні в'язучої речовини і модифікатора (гідрофільність, заряд, будову подвійного електричного шару, концентрацію поверхневих активних ансамблів), у широких межах модифікувати процес структуроутворення цементної матриці. При цьому температурний фактор не чинить негативного впливу на бетон, що твердне, а комплексний модифікатор забезпечує поліпшення фізико-механічних характеристик цементної матриці й бетону за рахунок первинної зміни стану системи.

2. Встановлено, що у модифікованій цементній системі, що гідратується, в результаті взаємодії різних макроіонів розвивається структуроутворюючий процес із перевагою актив-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

них частин, які значно перевищують його дисипативну частину порівняно з нормальними умовами тверднення. Результати, отримані при моделюванні поведінки модифікованої цементної системи, що гідратується, показують, що у системі спостерігаються коливання концентрації проміжних продуктів гідратації, які ототожнюються з виникненням просторово-часової структури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анпилов, С. М. Опалубочные системы для монолитного строительства / С. М. Анпилов. – Москва : АСВ, 2005. – 280 с.
2. Анпилов, С. М. Технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона / С. М. Анпилов. – Москва : АСВ, 2010. – 592 с.
3. Дейнега, Ю. Ф. Дисперсные системы в электрических полях / Ю. Ф. Дейнега // Укр. хим. журн. – 2001. – Т. 67, № 3. – С. 13–18.
4. Изотов, В. С. Химические добавки для модификации бетона / В. С. Изотов, Ю. А. Соколова. – Москва : Палеотип, 2006. – 244 с.
5. Лермит, Р. Проблемы технологии бетона / Р. Лермит. – Москва : ЛКИ, 2007. – 296 с.
6. Рабинович, Ф. Н. Композиты на основе дисперсноармированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции / Ф. Н. Рабинович. – Москва : АСВ, 2004. – 560 с.
7. Руденко, Н. Н. Тяжелые бетоны с высокими эксплуатационными свойствами / Н. Н. Руденко. – Днепропетровск : Арт-Пресс, 1999. – 260 с.
8. Файнер, М. Ш. Высокопрочный бетон / М. Ш. Файнер. – Черновцы : Рута, 2007. – 217 с.
9. Хердтл, Р. Долговечность бетонов на основе многокомпонентных цементов / Р. Хердтл, М. Дитерманн, К. Шмидт // Цемент и его применение. – 2011. – № 1. – С. 76–80.
10. Aitcin, P. C. The Art and Science of Durable High-Performance Concrete / P. C. Aitcin // Proc. of Nelu Spiratos Symposium. Committee for the Organization of CANMET / ACI Conferences. – Cody, USA : ACI-NA, 2003. – P. 69–88.
11. Bolshakov, V. I. Contact strength of mechanoactivated fane concretes from granulated blast-furnace slags / V. I. Bolshakov, M. O. Yeliseieva, S. A. Shcherbak // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. залізн. трансп. – 2014. – № 5 (53). – P. 138–149. doi: 10.15802/stp2014/29975.
12. Collepardi, M. Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC / M. Collepardi // Proc. of the Workshop on New Technologies and Materials in Civil Engineering. – Milan, 2003. – P. 1–8.
13. Collepardi, M. The New Concrete / M. Collepardi. – Milan : Published by Grafishe Tintoretto, 2006. – 421 p.
14. Hanehara, S. Rheology and early age properties of cement systems / S. Hanehara, K. Yamada // Cement and Concrete Research. – 2008. – Vol. 38. – Iss. 2. – P. 175–195. doi: 10.1016/j.cemconres.2007.09.006.
15. Gjorv, O. E. High Strength Concrete / O. E. Gjorv // Advanced in Concrete Technology. – Canada. – 2007. – P. 21–79.
16. Ivanova, H. P. Analisis and application prospects of effective resources-saving technologies in concrete manufacture / H. P. Ivanova, O. I. Trufanova // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. залізн. трансп. – 2014. – № 5 (53). – P. 150–156. doi: 10.15802/stp2014/30453.
17. Malhotra, V. M. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc. / V. M. Malhotra, P. K. Mehta. – Ottawa : Canadian Science Publishing, 2002. – 101 p.
18. Mechanical Properties of Modified Reactive Powder Concrete / S. Collepardi, L. Coppola, R. Troli, M. Collepardi // The Proc. of the Fifth Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete : ACI Publication SP-173. – Roma, Italy, 1997. – P. 1–21.
19. Middendorf, B. Nanoscience and nanotechnology in cementitious materials / B. Middendorf, N. B. Singh // Cement International. – 2006. – № 4. – P. 80–86.
20. Neville, A. M. Wlasciwosci betonu / A. M. Neville. – Crakow : Polski Cement, 2000. – 874 p.
21. Plank, J. Impact of zeta potential of early cement hydration phases on superplasticizer adsorption / J. Plank, C. Hirsh // Cement and Concrete Research. – 2007. – Vol. 37. – Iss. 4. – P. 537–542. doi: 10.1016/j.cemconres.2007.01.007.
22. Rudenko, D. Properties of the phase components of the modified cement system / D. Rudenko // TEKA Kom. Mot. I Energ. Roln. – 2013. – Vol. 13, № 4. – P. 218–224.
23. Rudenko, N. The Development of Conception of New Generation Concretes / N. Rudenko // TEKA Kom. Mot. I Energ. Roln. – 2010. – Vol. XB. – P. 128–133.
24. Rudenko, N. Technology of shotcreting based on activated binder / N. Rudenko // TEKA Kom. Mot. i Energ. Roln. – 2014. – Vol. 14, № 1. – P. 222–228.

Д. В. РУДЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Городское строительство и хозяйство», Запорожская государственная инженерная академия, пр. Ленина, 226, Запорожье, Украина, 69006, тел. +38 (098) 214 04 85, эл. почта veberc@ukr.net, ORCID 0000-0003-0827-042X

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ЦЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА

Цель. Работа направлена на разработку научных основ технологии модифицированного бетона нового поколения для сооружений специального назначения за счет управления процессами структурообразования модифицированной цементной системы в естественных условиях твердения. **Методика.** Для достижения поставленной цели: 1) проведены исследования реологических характеристик модифицированных бетонных смесей для сооружений специального назначения и процессов структурообразования модифицированной цементной системы бетона естественного твердения; 2) определены методы надежной оценки прочности бетона в момент снятия опалубки и передачи нагрузки на конструкции, в которых бетон не достиг проектной прочности. **Результаты.** Автором установлено, что в гидратирующейся модифицированной цементной системе в результате взаимодействия различных макроионов развивается структурообразующий процесс с преимуществом активных частей, которые значительно превышают его диссипативную часть по сравнению с нормальными условиями твердения. **Научная новизна.** Установлены закономерности структурообразования модифицированной цементной системы, армированной синтезированными хорошо закристаллизованными спиралевидными нитевидными кристаллами, механическое сцепление которых рассматривается как основной источник создания прочности в совокупности с дополнительным сцеплением, достигаемым в результате взаимного прорастания кристаллов. **Практическая значимость.** В процессе исследования рассмотрено повышение вяжущего потенциала цемента в высокопрочных бетонах и использование модифицированных цементных систем в особых условиях бетонирования. Разработан органо-минеральный модифицирующий комплекс, обеспечивающий дисперсное армирование цементной матрицы бетона, который позволяет, изменяя природу поверхности вяжущего вещества и модификатора, модифицировать процесс структурообразования цементной матрицы. Температурный фактор не оказывает негативного действия на твердеющий бетон, а комплексный модификатор обеспечивает улучшение физико-механических характеристик цементной матрицы и бетона за счет первичного изменения состояния системы. В модифицированной гидратирующейся цементной системе в результате взаимодействия различных макроионов развивается структурообразующий процесс с преимуществом активных частей, которые значительно превышают его диссипативную часть по сравнению с нормальными условиями твердения. Результаты, полученные при моделировании поведения гидратирующейся модифицированной цементной системы, показывают, что в системе наблюдаются колебания концентрации промежуточных продуктов гидратации, которые отождествляются с возникновением пространственно-временной структуры.

Ключевые слова: цементная система; модификация; структурообразование; бетон

D. V. RUDENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Urban Construction and Management», Zaporizhzhia State Engineering Academy, Lenin Av., 226, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (098) 214 04 85, e-mail veberc@ukr.net, ORCID 0000-0003-0827-042X

PHYSICO-CHEMICAL MODIFICATION OF MONOLITHIC CONCRETE CEMENT SYSTEM

Purpose. The paper is aimed to the development of scientific bases of the technology of modified concrete of new generation for special facilities by managing the processes of structure formation of modified cement system in conditions of hardening. **Methodology.** For the achievement the goal: 1) the research of rheological characteristics of modified concrete mixes for special facilities purpose and processes of structure formation of modified cement system of natural curing concrete was conducted; 2) there were defined methods of reliable evaluation of concrete strength at the removal time of formwork and transmission of loads to the constructions where the concrete has not reached the designed strength. **Findings.** The author found that the structure formation process develops in the hydrating modified cement system as a result of interaction of various macroions. In this process its active parts pre-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

vail, which considerably exceed its dissipative part compared to normal conditions of hardening. **Originality.** There were established the regularities of structure formation of modified cement system, reinforced with synthesized, well crystallized helical filamentary crystals, mechanical grip of which is considered as a principal source of strength in combination with an additional coupling achieved due to cross-germination of crystals. **Practical value.** In the study the increased binding capacity of cement in high strength concretes and the use of modified cement systems in the special conditions of concreting were considered. The organo-mineral modifying complex that provides the dispersed reinforcement of concrete cement matrix which allows modifying the process of cement matrix structure formation by changing the nature of the surface of binder and modifier was developed. The temperature factor has no negative influence on the hardening concrete and complex modifier provides the improved physico-mechanical characteristics of cement matrix and concrete by means of the primary changes in the system state. In the modified hydrating cement system as a result of interaction of various macroions the structure-forming process with advantage of active parts, which significantly exceed its dissipative part of the normal conditions of hardening are developing. The results of modeling the behavior of modified hydrating cement system show that fluctuations in the concentration of intermediate hydration products are observed in the system. They are identified with the emergence of spatiotemporal structure.

Keywords: cement system; modification; structure formation; concrete

REFERENCES

1. Anpilov S.M. *Opalubochnyye sistemy dlya monolitnogo stroitelstva* [Formwork systems for monolithic construction]. Moscow, ASV Publ., 2005. 280 p.
2. Anpilov S.M. *Tekhnologiya vozvedeniya zdaniy i sooruzheniy iz monolitnogo zhelezobetona* [The technology of building and structures of reinforced concrete]. Moscow, ASV Publ., 2010. 592 p.
3. Deynaga Yu.F. Dispersnyye sistemy v elektricheskikh polyakh [Disperse systems in electric fields]. *Ukrainskiy khimicheskiy zhurnal – Ukrainian Chemical Journal*, 2001, vol. 67, no. 3, pp. 13-18.
4. Izotov V.S., Sokolova Yu.A. *Khimicheskiye dobavki dlya modifikatsii betona* [Chemical additives for concrete modification]. Moscow, Paleotip Publ., 2006. 244 p.
5. Lermir R. *Problemy tekhnologii betona* [The problems of concrete technology]. Moscow, LKI Publ., 2007. 296 p.
6. Rabinovich F.N. *Kompozity na osnove dispersnoarmirovannykh betonov. Voprosy teorii i proyektirovaniya, tekhnologiya, konstruksii* [Composites based on dispersion-reinforced concrete. Theory and design, technology, construction]. Moscow, ASV Publ., 2004. 560 p.
7. Rudenko N.N. *Tyazhelye betony s vysokimi ekspluatatsionnymi svoystvami* [Heavy concretes with high performance properties]. Dnepropetrovsk, Art-Press Publ., 1999. 260 p.
8. Fayner M.Sh. *Vysokoprochnyy beton* [High-strength concrete]. Chernovtsy, Ruta Publ., 2007. 217 p.
9. Kherdtl R., Ditermann M., Shmidt K. *Dolgovechnost betonov na osnove mnogokomponentnykh tsementov* [Durability of concretes on the basis of multi-component cements]. *Tsement i ego primeneniye – Cement and its Application*, 2011, no. 1, pp. 76-80.
10. Aitcin P.C. The Art and Science of Durable High-Performance Concrete. Proc of Nelu Spiratos Symposium. Committee for the Organization of CANMET / ACI Conferences. Cody, USA, ACI-NA Publ., 2003, pp. 69-88.
11. Bolshakov V.I., Yelisieieva M.O., Sccherbak S.A. Contact strength of mechanoactivated fine concretes from granulated blast-furnace slags. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 5 (53), pp. 138-149. doi: 10.15802/stp2014/29975.
12. Collepardi M. Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC. Proc. of the Workshop on New Technologies and Materials in Civil Engineering. Milan, 2003, pp. 1-8.
13. Collepardi M. *The New Concrete*. Milan, Published by Grafishe Tintoretto Publ., 2006. 421 p.
14. Hanehara S., Yamada K. Rheology and early age properties of cement systems. *Cement and Concrete Research*, 2008, vol. 38, issue 2, pp. 175-195. doi: 10.1016/j.cemconres.2007.09.006.
15. Gjorv O.E. High Strength Concrete. *Advanced in Concrete Technology*. Canada, 2007, pp. 21-79.
16. Ivanova H.P., Trufanova O.I. Analisis and application prospects of effective resources-saving technologies in concrete manufacture. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 5 (53), pp. 150-156. doi: 10.15802/stp2014/30453.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

17. Malhotra V.M., Mehta P.K. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc. Ottawa, Canadian Science Publishing Publ., 2002. 101 p.
18. Collepardi S., Coppola L., Troli R., Collepardi M. Mechanical Properties of Modified Reactive Powder Concrete. The Proc. of the Fifth Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete: ACI Publication SP-173. Roma, Italy, 1997, pp. 1-21.
19. Middendorf B., Singh N.B. Nanoscience and nano-technology in cementitious materials. *Cement International*, 2006, no. 4, pp. 80-86.
20. Neville A.M. Wlasciwosci betonu. Crakow, Polski Cement Publ., 2000. 874 p.
21. Plank J., Hirsh C. Impact of zeta potential of early cement hydration phases on super- plasticizer adsorption. *Cement and Concrete Research*, 2007, vol. 37, issue 4, pp. 537-542. doi: 10.1016/j.cemconres.2007.01.007.
22. Rudenko D. Properties of the phase components of the modified cement system. *TEKA Kom. Mot. I Energ. Roln.*, 2013, vol. 13, no. 4, pp. 218-224.
23. Rudenko N. The Development of Conception of New Generation Concretes. *TEKA Kom. Mot. I Energ. Roln.*, 2010, vol. XB, pp. 128-133.
24. Rudenko N. Technology of shotcreting based on activated binder. *TEKA Kom. Mot. i Energ. Roln.*, 2014, vol. 14, no. 1, pp. 222-228.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. А. Банахом (Україна); д.т.н., проф. М. І. Нетесою (Україна)

Надійшла до редколегії 02.09.2015

Прийнята до друку 30.10.2015

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

УДК [655.413:050]:378.4

Т. А. КОЛЕСНИКОВА^{1*}, И. А. КЛЮШНИК^{2*}

^{1*}Научно-техническая библиотека, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 05, эл. почта lib@b.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-4603-4375

^{2*}Каф. «Электронные вычислительные машины», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, эл. почта klugran@i.ua, ORCID 0000-0001-9939-0755

ИЗДАНИЕ НАУЧНОЙ ПЕРИОДИКИ В УНИВЕРСИТЕТАХ: НОВЫЕ ЗАДАЧИ, УЧАСТНИКИ, ТЕХНОЛОГИИ

Цель. Издание научной периодики в университетах является необычайно важным и необходимым элементом в инфраструктуре научной коммуникации. Целью статьи является: 1) предоставление новой модели системы издания университетской научной периодики (на примере Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна – ДНУЖТ); 2) исследование особенностей модели «Библиотечное издательство» (Library Publishing) и библиотеки как нового участника в издании мировой научной университетской периодики; 3) описание разработанных программных средств автоматизации верстки научных статей и их интеграции в международные БД научно-технической информации. **Методика.** Учеными исследованы: 1) система издания научной периодики в университетах мира, в т.ч. ДНУЖТ; 2) система интеграции электронных версий периодических изданий и отдельных статей ученых ДНУЖТ в мировые научные БД; 3) издательская деятельность научно-технической библиотеки университета. **Результаты.** Авторами доказана необходимость скорейшего обновления в каждом вузе Украины системы управления научной периодикой и создания концепции развития периодических изданий. Определены условия для появления позитивных изменений в издательских процессах в вузах и назван новый участник этих процессов – университетская библиотека. Представлен перечень новых задач, присущих научным периодическим изданиям университетов. Создан программный продукт «Цифровой верстальщик» как новое прикладное информационно-технологическое решение для расширения функциональности базовой информационной системы издания в соответствии с его редакционной политикой. **Научная новизна.** Учеными исследован процесс трансформации организационной структуры издания научной периодики в университетах Украины и мира. Доказано, что в современных условиях для издательств университетской научной периодики наиболее рациональным является переход к новой модели системы издания, особенность которой – отказ от сугубо печатной и внедрение смешанной модели публикации. Данная модель предполагает, что традиционная печатная продукция дополняется формой «Epub ahead of print» (e-публикация перед печатью) с использованием сайта журнала как оперативного канала распространения публикаций. **Практическая значимость.** Переход университетов на новую модель системы издания научной периодики, формирование современной концепции научного журнала, создание актуальных программных средств (например, автоматизации верстки научных статей и интеграции публикаций в базы данных научно-технической информации) позволят улучшить качество журналов и их конкурентоспособность на международном уровне.

Ключевые слова: научная периодика; издание научных журналов; университет; университетская библиотека; новая редакционная политика; качество научного журнала; модель публикации; форма «Epub ahead of print»; программа «Цифровой верстальщик»

Введение

Основная задача научной периодики – это распространение научного знания. В то же время сегодня именно научные журналы, соответствующие международным издательским стандартам, способны содействовать выполнению одного из национальных императивов Украины – необходимости увеличения уровня присутствия отечественной науки в глобальном научно-информационном пространстве и повышения уровня ее влияния в мире. Значительная роль в этих процессах принадлежит движению Открытого доступа (Open Access).

Развитие новых моделей научной коммуникации, активно поддерживающих парадигму открытой науки (Open Science) и являющихся ее фундаментом, стремится не только к достижению неограниченного и бесплатного доступа к результатам научных исследований в Интернете. Оно содействует, с одной стороны, выполнению глобальных задач – популяризации науки, контролю научных сообществ за качеством публикаций ученых, развитию междисциплинарных исследований, усовершенствованию политики научного рецензирования и информетрических технологий (в библио– и наукометрии, вебо– и альт-метрии); с другой – улучшению качества журналов и их конкурентоспособности на международном уровне в условиях стремительно возрастающего влияния глобальных индексов цитирования для оценки качества научных публикаций.

При этом специалисты, исследующие влияние политики Open Access на развитие мировой науки, подчеркивают, что производительность системы научной коммуникации в каждой стране должна быть тщательно проанализирована с целью определения наиболее подходящей стратегии открытого доступа [14]. Среди негативных фактов, порожденных Open Access, называется такое явление, как «хищнические» журналы (predatory publishing) [15].

Сегодня проблематика издания научной периодики в соответствии с международными стандартами требует не только современного информационно-технологического уровня (с учетом новых форматов ввода и обработки

информации). Обязательным является формирование новой культуры научных публикаций, базирующейся на этических нормах поведения авторов, рецензентов и редакторов (в т.ч. политики в отношении плагиата, достоверности данных, авторства), требованиях глобальных индексов цитирования, практических рекомендаций международных редакционных ассоциаций и др.

Издание научной периодики в университетах является необычайно важным и необходимым элементом в инфраструктуре научной коммуникации, учитывая тесную связь со значительной частью авторов, оперативность, возможность издания небольшим печатным тиражом, наличие гарантированного заказчика – библиотеки, способность укреплять связи вузов с внешним миром и т.п.

История мировой науки свидетельствует о том, что услугами университетских издательств и типографий в разные годы пользовались Галилео Галилей, профессор (1592–1610 гг.) Падуанского университета в Венецианской республике и профессор Пизанского университета, Исаак Ньютон, профессор Кембриджского университета в Англии, Мария Склодовская-Кюри, профессор университета Сорбонны во Франции и др. [12, с.5.].

Исследователи, изучающие деятельность издательства Йельского университета, среди наиболее интересных достижений указывают на быстрое осознание университетским сообществом того, что публикации издательства составляют столь же существенную часть Йеля, как и факультеты, готовящие студентов, и столь же незаменимую для учреждения в целом [9, с. 168].

Рассматривая деятельность по изданию вузовской научной периодики на постсоветском пространстве, нельзя не согласиться с мнением о том, что до недавнего времени «...отношения журнала и университета складывались соответственно концепции «журнал для авторов»: он должен был обеспечивать публикацию сотрудников, аспирантов и докторантов вуза, при этом, желательно, обеспечивая себя финансово. В этом состоянии журналы подошли к моменту, когда на них неожиданно были возложены новые функции и предъявлены

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

новые требования» [13, с.181]. В общем виде эти требования можно сформулировать как необходимость интеграции научных журналов в мировую систему научных публикаций (с безусловным соответствием их уровня мировым стандартам), в т.ч. с целью повышения видимости и влияния отечественной науки.

Во всем мире новая инфраструктура научных коммуникаций и IT-трансформации содействуют реализации новых типов сотрудничества ученых-авторов, издателей, библиотекарей. При этом именно университетская библиотека сегодня отличается максимальным развитием сервисов по поддержке научных публикаций и появлением новых коммуникационных моделей ее деятельности [6–8]. Ученые отмечают, что данный феномен дает все большую возможность библиотеке играть ведущую, а не вспомогательную роль в экосистеме научной коммуникации [17].

Несмотря на достаточную разработанность темы о необходимости срочной трансформации периодических изданий с целью повышения уровня их соответствия международным стандартам, недостаточно раскрытыми являются вопросы создания в университетах новых издательских концепций, учитывающих современные задачи научных журналов, участников издательских процессов, прикладные информационно-технологические решения в соответствии с редакционной политикой издания и т.д.

Цель

Исходя из вышеизложенного, целью статьи является: 1) предоставление новой модели системы издания университетской научной периодики (на примере Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна – ДНУЖТ), 2) исследование особенностей модели «Библиотечное издательство» (Library Publishing) и библиотеки как нового участника в издании мировой научной университетской периодики; 3) описание разработанных авторами программных средств для автоматизации верстки научных статей и их интеграции в международные БД научно-технической информации.

Методика

Теоретической базой исследования стали публикации, освещающие: 1) современные мировые процессы в издании научной периодики, в т.ч. в университетах мира; 2) роль научных библиотек в издательской деятельности (Library Publishing); 3) проблемные вопросы по интеграции результатов научных исследований в глобальное научно-информационное пространство.

Практической базой исследования послужили: 1) система издания научной периодики в ДНУЖТ; 2) система интеграции электронных версий периодических изданий ДНУЖТ, а также отдельных статей ученых вуза в международные БД научно-технической информации (полнотекстовые, реферативные и базы данных научного цитирования), электронные каталоги, информационно-поисковые системы и др.; 3) издательская деятельность научно-технической библиотеки университета.

Главным коммуникационным каналом обнародования результатов научных исследований является публикация в научном журнале. В то же время издательская деятельность большей части университетов Украины является достаточно громоздкой и устаревшей и не соответствует требованиям времени [11]. При издательстве научных журналов до недавнего времени часто не учитывалась дальнейшая потребность интеграции статей данных изданий как в собственный цифровой архив вуза (репозитарий), так и в различные мировые базы данных научно-технической информации.

Сегодняшняя издательская деятельность характеризуется внедрением современных информационных систем управления бизнес-процессами научных журналов, что позволяет, прежде всего, автоматизировать наиболее трудоемкие рабочие процессы, а порталное решение дает возможность интегрировать журнал в мировое информационное научное пространство [2].

Особенностью взаимоотношений между университетом (как учредителем и издателем) и научным журналом является наличие единых этических норм и правил, позволяющих регулировать и координировать всю систему

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

издания научных журналов в вузе [13]. При этом, например, к области компетенции редакции журнала относится весь редакционный процесс, включая прием, рецензирование и редактирование статей. Университет же обеспечивает репутационную поддержку журналов, пропагандирует их работу и распространяет информацию о них; поощряет участие сотрудников университета в работе журналов в качестве редакторов, рецензентов и авторов; обеспечивает финансирование журналов, исходя из приоритетов развития и имеющихся ресурсов и др. [Там же, с. 186].

Мировая научная общественность все чаще фиксирует факты активного партнерства университетских библиотек на всех стадиях жизненного цикла научного исследования [1, 4–8, 15–24].

Особенностью современного этапа в эволюции библиотечных сервисов является смещение вектора внимания научных библиотек от услуг для читателя вообще к приоритетному вниманию в предоставлении услуг автору-ученому [8]. При этом выполняются задачи:

- информационной поддержки научных исследований;
- развития институциональных архивов (репозитариев);
- издания научных е-журналов, е-монографий и е-материалов конференций;
- интеграции результатов научных исследований в мировые БД научно-технической информации (полнотекстовые, реферативные, научного цитирования ...);
- измерения влияния и видимости результатов научных исследований вузов в мире (информетрия: библиометрия, наукометрия, вебометрия, альтметрия);
- обучения ученых различным аспектам информационного поиска и работе с мировыми базами данных научного цитирования и др.;
- содействия формированию бренда учебного и др.

Реализация инновационных направлений работы университетских библиотек, безусловно, требует разработки новых программных продуктов и создания/освоения новых методик.

Особый интерес вызывает возможность широкого внедрения в практику научных

библиотек модели «Библиотечное издательство» (Library Publishing), имеющей в университетах Северной Америки уже почти 20-летнюю историю и сегодня активно распространяющейся по всему миру [7].

Раскрывая сущность понятия «Библиотечное издательство» (Library Publishing), ученые определяют его (в широком смысле) как комплекс мероприятий, проводимых в библиотеках университетов или колледжей, для создания, распространения и курирования научных, творческих и/или учебных работ [24]. То есть объектами публикации являются журналы, монографии, электронные авторефераты и диссертации, «серая» литература, материалы конференций и др. Как правило, в публикационной деятельности университетских библиотек мира существует три вида реализуемых издательских проектов: научные журналы открытого доступа, материалы конференций, монографии. Но практика показывает, что библиотечная издательская служба в основном занимается созданием научных электронных журналов открытого доступа [21].

По словам К. Хан (Karla Hahn), реализация программ издательской деятельности библиотеки является прагматичным ответом на очевидные запросы и потребности ученых, а не внедрением новых услуг в поисках клиентов [16]. Именно Library Publishing содействует росту влияния библиотеки, повышению ее значимости среди университетского сообщества, наличию официального статуса «партнера в производстве знаний» [18, с. 201].

Неоценимым является опыт университетских библиотек США и Канады в направлении создания модели библиотечного производства и сервисов Library Publishing [7]. Данная модель, как правило, фокусируется на научных электронных журналах открытого доступа, дополняя, таким образом, традиционную печатную академическую прессу. Library Publishing обеспечивает не только процессы редакционной обработки, публикации и хранения цифровых архивов, но и послепубликационную поддержку научных периодических изданий, в том числе их интеграцию в многочисленные национальные и мировые базы данных научно-технической информации.

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Library Publishing, безусловно, приобрело свои специфические черты и особенности. Его, например, отличает от работы традиционных издательств своя бизнес-модель, особенность которой – субсидирование, в основном, из библиотечного бюджета, а также отсутствие ожиданий на возмещение затрат или получение прибыли от данного вида деятельности [19].

Возникающий на начальном этапе реализации Library Publishing конфликт интересов «библиотека – издательство» решается четким распределением обязанностей, партнерской этикой, корпоративной университетской солидарностью и переосмыслением общей миссии – обеспечить полный спектр библиотечно-информационных и научно-издательских продуктов и услуг для представительства университетской науки в интегрированном мировом научно-информационном пространстве [7].

Именно поэтому традиционные издательские службы университетов все чаще обращаются к библиотекам с предложениями о совместной деятельности по возрождению старых научных журналов или о выпуске новых [22]. Стремясь оправдать ожидания редакторов и всего научного сообщества университетов, библиотечные издательские службы участвуют в разработке совместных стратегий, направленных на расширение номенклатуры сервисов, новых методик сохранения цифрового контента и доступа к нему, на улучшение профессиональных компетенций в области современного издательского дела и т.д.

Но главное – *библиотеки получили возможность влиять на формирование качественной библиографической культуры издания*, что является ключевым моментом при работе с наукометрическими системами разного уровня.

Необходимость тесного сотрудничества издательских служб библиотек и исследователей с целью расширения знаний и навыков в процессах управления данными – тема для многих современных ученых в области научных коммуникаций, библиотечно-информационных и компьютерных наук, провайдеров информационных ресурсов и т.д. Обладание библиотекарями профессио-

нальными навыками структурирования, классифицирования, архивирования огромных массивов информации (данных и метаданных), обмена ею и предоставления метрических характеристик документов расширяют возможности их сотрудничества с исследователями, в т.ч. в направлении создания мощных информационно-технических инфраструктур [23].

Несмотря на стремительно растущее по всему миру количество научных библиотек, занимающихся издательской деятельностью, по-прежнему происходят процессы адаптации и восприятия их новой роли. Одной из важнейших проблем при этом являются вопросы, касающиеся повышения компетенции сотрудников библиотек, непосредственно осуществляющих данные проекты, их новых знаний, навыков и практик, овладение которыми должно обеспечить предоставление надежных издательских услуг. Ученые отмечают, что потребность в специализированном обучении и возможности профессионального развития постоянно находится в центре внимания и осуществляется за счет решения ряда образовательных программ: бакалаврские и магистерские программы, летние институты, профессиональные семинары, дистанционные курсы и т.д. [19].

Современная издательская деятельность научных библиотек Украины, опираясь на внедрение информационно-коммуникационных технологий, направлена на дальнейшее развитие инновационных процессов в публикационной деятельности, связь с издательствами, полиграфическими предприятиями, агрегаторами информационных ресурсов и т.д. [1].

С 2011 г. достаточно интенсивно реализуется издательская деятельность в научно-технической библиотеке ДНУЖТ. Являясь соиздателями, менеджерами, аналитиками двух ДАКовских журналов – «Наука та прогрес транспорту» и «Антропологічні виміри філософських досліджень», библиотека активно их интегрирует в национальные и международные полнотекстовые, реферативные БД, базы данных научного цитирования, электронные каталоги, информационно-поисковые системы [5–7].

И в то же время издательская служба библиотеки является координатором, кура-

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

тором, аналитиком системи сайтів научних періодических видань ДНУЖТ – «E-journals of DNURT» (<http://ejournals.diit.edu.ua/>) на платформі OJS (сейчас — 7 сайтів, в перспективі – 10).

Бібліотека, всі редакції научної періодики вуза, рекламно-видавничий відділ, керуючись рішеннями Редакційного ради університету, намагаються сприяти виданню наукових журналів в відповідності з міжнародними стандартами і вимогами глобальних індексів цитування, а це априорі передбачає сучасний інформаційно-технологічний рівень видавничих процесів.

Інформаційні технології в видавничій справі визначаються як сукупність методів реєстрації, зберігання, обробки і передачі інформації для друкованого і електронного розмноження текстової і зобразованої продукції [3]. Стремління до вдосконалення, вони характеризуються новими комунікаційними можливостями, новими носіями інформації, новими підходами в організації обміну інформацією.

Першим кроком в модернізації системи научної періодики в ДНУЖТ стала автоматизація роботи, тобто впровадження автоматизованого управління робочими процесами в кожній з семи редакцій. Дані дії були засновані на новій видавничій концепції, розробленій Редакційним радою університету.

Сьогодні всі наукові періодическі видання університету, згідно нової концепції, перешли від суцільно друкованої до *смішаної моделі публікації*. Данна модель передбачає, що традиційна друкована продукція доповнюється формою «Epub ahead of print» (е-публікація перед друком). Практика публікації електронної версії статті на сайті видання (після створення остаточного макета номера для друку!) до її появи в друку забезпечує збільшення швидкості отримання публікації до можливого читачем в будь-який час в будь-якій точці земної кулі. Слід підкреслити, що кожне періодическе видання (журнал, збірник наукових праць) ДНУЖТ має сайт на платформі Відкриті Журнальні Системи – OJS, підтримуючи політику Open Access.

В свою чергу, від швидкості публікації залежать як метричні показники окремої статті, видання в цілому, так і місце університету в міжнародних і національних системах рейтингової оцінки.

В умовах важкого економічного кризи України змішана модель публікації: 1) забезпечує чітку періодичність виходу кожного номера видання в електронній формі; 2) сприяє підвищенню впливу наукових публікацій в Глобальній мережі; 3) дозволяє регулювати мінімально необхідну кількість друкованих екземплярів з урахуванням обов'язкової і службової розсилки, підписки на періодическі видання, авторських екземплярів і т.д.; 4) зменшує витрати університету як видавця на тиражування і розсилку друкованих екземплярів і ін.

Нами вже підкреслювалося, що сайти всіх періодических видань ДНУЖТ функціонують на платформі OJS. І хоча сьогодні в ряді випадків всі функціональні можливості системи редакційними ще не задіяні, технологічні процеси онлайн-взаємодії з авторами наукових текстів, редакційної обробки рукописів, формування і публікації повних текстів статей, їх післяпублікаційної підтримки і архівування вже активно освоюються співробітниками.

В той же час подальше розвиток періодических наукових видань передбачає необхідність розширення функціональності його базової інформаційної системи, що пов'язано як з особливостями предметної області цього журналу, так і зі сложившимися традиціями роботи його редакції і редколегії, що досягається розробкою спеціалізованих модулів [2, с. 284].

Наприклад, з урахуванням того, що весь видавничий процес створення научної періодики проходить в межах університету, програмістом видавничої служби бібліотеки був створений програмний продукт «Цифровий верстальщик». З однієї сторони, програма автоматизує верстку журналів, здійснювану в рекламно-видавничому відділі – РІО університету (там же виробляється друкування видань); з іншої – «Цифровий верстальщик» створює можливість паралельного отримання бібліотекою потрібних метаданих і повних

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

текстов статей для их оперативной интеграции (после создания финального макета номера для печати!) как на сервер университета (платформы OJS и DSpace), так и в различные отечественные и мировые базы данных (научного цитирования, реферативные, полнотекстовые) [4]. Причем по завершении работы программа «Цифровой верстальщик» формирует: файлы для РИО – в форматах DOC

и PDF; для издательской службы библиотеки – статьи в формате HTML (для последующей автоматической интеграции в РИНЦ) и формате XML (для Index Copernicus, CrossRef и др.).

С учетом запуска программы «Цифровой верстальщик» система издания научной периодики ДНУЖТ может быть представлена в виде, изображенном на рис. 1.



Рис. 1. Система издания научной периодики ДНУЖТ, основанная на смешанной модели публикации «Epub ahead of print»

Fig. 1. Publication system of scientific periodicals of DNUJT based on a mixed publication model «Epub ahead of print»

Данная работа раньше выполнялась преимущественно в ручном режиме для каждой статьи и требовала затрат большого количества человеческих ресурсов и времени.

На рис. 2 показан общий вид программы «Цифровой верстальщик». Программа апробирована на журналах «Наука та прогрес

транспорту» (<http://stp.diit.edu.ua/>) и «Антропологічні виміри філософських досліджень» (<http://ampr.diit.edu.ua/>), а далее, с учетом дальнейшей адаптации к остальным изданиям, будет использована во всей системе издания научной периодики ДНУЖТ [4].

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Рис. 2. Общий вид программы «Цифровой верстальщик»

Fig. 2. General view of the program «Digital designer»

Еще одним примером применения компьютерных и информационных технологий в издании университетской периодики является адаптация автоматизированной системы OJS к отдельным изданиям с целью улучшения работы их редакций. В частности для журналов «Наука та прогрес транспорту» и «Антропологічні виміри філософських досліджень» реализованні возможности: 1) отображения информации об авторах на трех языках (английском, украинском, русском); 2) представления пристатейных списков литературы на кириллице (согласно ГОСТ) и References на латинице (согласно зарубежному стандарту Harvard); 3) регулирования наполняемости цифрового архива и долговременного хранения публикаций в нем.

Результаты

В ходе проведения исследования авторами была проанализирована проблематика, связанная с изданием научной периодики

в университетах. Особое внимание сосредотачивалось на раскрытии новых задач, стоящих перед университетами как учредителями и издателями научных журналов (сборников научных трудов) и редакциями изданий. Изменения во взаимоотношениях университетов и редакций научной периодики связаны с появлением новых требований к самим вузам и отнесению библиометрических показателей к обязательным элементам в отчетности институций, исследовательских групп и отдельных ученых [8].

Сегодня *периодическое издание университета*, помимо выполнения *основных задач* – быть распространителем научного знания и дополнительной «платформой» для обнародования результатов фундаментальных и прикладных исследований ученых-авторов в соответствии с направлениями развития вуза, *должно*:

– обеспечивать всемирную демонстрацию достижений ученых институции;

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

- гарантировать продвижение результатов их научных исследований;
- содействовать укреплению позиций университета и его дальнейшему развитию на национальном и мировом уровнях в соответствующем научном направлении;
- способствовать формированию бренда университета, его академической репутации как издателя влиятельных научных журналов (сборников научных трудов);
- предоставлять возможность творческого самовыражения всем участникам процесса создания научного журнала: сотрудникам редакции, независимым рецензентам, научным, литературным и художественным редакторам, информационным аналитикам, менеджерам по рекламе, программистам и, конечно, авторам;
- поддерживать наиболее приемлемую для университета бизнес-модель и т.д.

При этом следует учитывать дополнительную возможность позитивных изменений в развитии университетской периодики, связанную с глобальным влиянием политики Open Access.

В то же время негативным фактором для всей университетской периодики страны является наличие общей «ахиллесовой пяты» – качества англоязычного контента. Без устранения этой проблемной точки большая часть указанных задач вряд ли является выполнимой.

С учетом вышеизложенного, авторы считают необходимым скорейшее *обновление* в каждом вузе Украины *системы управления научной периодикой и создания концепции развития периодических изданий*.

Это ускорит поворот от ведущей в прошлом роли «карманного» научного журнала университета, обеспечивающего публикацию (в основном) ученых вуза – соискателей научных степеней и званий, к роли влиятельного научного издания, отвечающего международным стандартам и интересного ученым всего мира. И только тогда университетские научные журналы Украины смогут выйти из периферии мирового издательского процесса и занять в нем достойное место.

Классические схемы организационной издательской структуры за рубежом и в Ук-

раине, с одной стороны, отличаются друг от друга [10], а с другой – имеют одну характерную особенность, связанную с необходимостью обновления системы управления журналами в университетах.

На примере ДНУЖТ как издателя ряда научных периодических изданий теоретически и практически *подтвержден процесс трансформации* организационной издательской структуры в университетах Украины и мира.

Изменения основаны на:

- новых требованиях к научному периодическому изданию, связанных с необходимостью его интеграции в мировую систему научных публикаций (с безусловным соответствием уровню мировых стандартов), в т.ч. с целью повышения видимости и влияния отечественной науки;
- широком внедрении новых компьютерных технологий, позволяющих, например, оборудовать рабочие места компьютерными терминалами для документооборота рукописей, обработки текстовой, графической и видео информации, работы с информационно-поисковыми и экспертными системами, банками и базами данных;
- использовании современных информационно-коммуникационных технологий, связанных с интеграциями научных публикаций в международные и отечественные базы данных научно-технической информации, измерением уровня их влияния с использованием разнообразных метрических практик;
- появлении нового участника издательского процесса – университетской библиотеки.

Известно, что создание периодики состоит из трех этапов: допечатная подготовка, печать и постпресс. По мнению авторов, сегодня в университетах Украины самые значительные трансформации в издании научных журналов (сборниках трудов) происходят на первом и третьем этапах. Внедряя системы автоматического управления рабочими процессами на всех стадиях подготовки статьи (от получения авторской рукописи до ее интеграции в международные БД), именно на этапе допечатной подготовки (т.е. при внутриредакционном документообороте) мы видим практически полную автоматизацию

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

и шаблонизацию, в т.ч. наиболее сложных и длительных процессов, обеспечивающих научное рецензирование рукописи независимым экспертом.

В то же время продвижение научного журнала в международные информационные системы – процесс творческий, требующий знаний ландшафта научной коммуникации, навыков информационной навигации и информационного менеджмента.

Научная новизна и практическая значимость

Авторами исследован процесс трансформации организационной структуры издания научной периодики в университетах Украины и мира. На основании теоретических и прикладных исследований определены условия для появления позитивных изменений в издательских процессах в вузах и названы новые участники этих процессов. Учеными представлен перечень новых задач, присущих научным периодическим изданиям университетов. Их решение, в том числе, будет содействовать укреплению позиций университета и его дальнейшему развитию на национальном и мировом уровнях в соответствующем научном направлении.

Анализируя полученные в ходе исследования данные о необходимости принятия в издательских проектах вузов новых прикладных информационно-технологических решений в соответствии с редакционной политикой издания, авторами была предложена новая схема скоординированной деятельности двух подразделений ДНУЖТ (издательской службы библиотеки и рекламно-издательского отдела). Данная схема деятельности, по мнению авторов, должна ускорить процессы верстки, публикации, интеграции в наукометрические и другие базы данных, а также рационально использовать человеческие ресурсы с постепенной возможностью уменьшения необходимого количества сотрудников.

Создание программных средств автоматизации верстки научных статей с возможностью получения необходимых метаданных в текстовый файл, а также разработка прикладных программ автоматической интеграции публикаций позволит значительно

сократить время для интегрирования документов в базы данных научно-технической информации (научного цитирования, реферативные, полнотекстовые).

Выводы

1. Необходимым является скорейшее обновление в каждом вузе Украины системы управления научной периодикой и разработка новой издательской концепции, отражающей новую миссию, задачи научного журнала, новых участников издательских процессов, новые информационно-технологические решения.

2. В современных условиях для издательств университетской научной периодики наиболее рациональным является переход к новой модели системы издания университетской научной периодики. Особенность новой модели системы издания – отказ от сугубо печатной и внедрение смешанной модели публикации. Данная модель предполагает, что традиционная печатная продукция дополняется формой «Epub ahead of print» (е-публикация перед печатью) с использованием сайта журнала как оперативного канала распространения публикаций.

3. Реализация новых моделей научной коммуникации выдвинула университетские библиотеки мира на ведущие роли в процессах издания научной периодики вузов, ее интеграции в международное информационное пространство, измерения уровня ее представительства и научного влияния.

4. Сегодня в университетах Украины самые значительные трансформации в издании научных журналов (сборниках трудов) происходят на этапе допечатной подготовки и этапе постпрессы.

5. Издание научных журналов в соответствии с международными стандартами и требованиями глобальных индексов цитирования априори подразумевает современный информационно-технологический уровень издательских процессов и наличие новых прикладных информационно-технологических решений в соответствии с редакционной политикой издания.

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дубас, Т. П. Розвиток видавничої діяльності наукової бібліотеки в системі соціальних комунікацій [Електронний ресурс] / Т. П. Дубас // Сучасні проблеми діяльності бібліотек в умовах інформаційного суспільства : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (10.09.–11.09.2015). – Львів, 2015. – Режим доступу: http://nbuviap.gov.ua/images/konferenciya/konf_1viv/Dubas.pdf. – Загл. с экрана. – Проверено : 23.11.2015.
2. Елизаров, А. М. Инфраструктура электронного научного журнала и облачные сервисы поддержки жизненного цикла электронных публикаций / А. М. Елизаров, Д. С. Зуев, Е. К. Липачёв // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции : тр. 16-й Всерос. науч. конф. (13.10.–16.10.2014). – Дубна, 2014. – С. 283–286.
3. Капелев, В. В. Программные средства обработки информации. Ч. 1. Программы обработки текстовой информации : учеб. пособие / В. В. Капелев. – Москва : Изд-во МГУП, 2000. – 320 с.
4. Ключник, І. А. Цифрові видавничі сервіси університетської бібліотеки: програмне забезпечення «Електронний верстальник» [Електронний ресурс] / І. А. Ключник // Сучасні проблеми діяльності бібліотек в умовах інформ. сусп-ва : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (10.09–11.09.2015). – Львів, 2015. – Режим доступу: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/4301/4/Kliushnyk.pdf>. – Загл. с экрана. – Проверено : 23.11.2015.
5. Колесникова, Т. А. Интеграция украинской отраслевой научной периодики в мировое научно-информационное пространство: проблемы и решения / Т. А. Колесникова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 7–22. doi: 10.15802/stp2013/19835.
6. Колесникова, Т. А. Коммуникационные модели деятельности библиотек высшей школы / Т. А. Колесникова // Библиотековедение. – 2014. – № 1. – С. 114–122.
7. Колесникова, Т. О. Науково-видавнича модель «Library Publishing» в університетських бібліотеках України та світу / Т. О. Колесникова, А. І. Миргородська // Вісн. Кн. палати. – 2015. – № 3. – С. 24–28.
8. Колесникова, Т. А. Оценка результативности научных исследований: библиометрия / Т. А. Колесникова, Е. В. Матвеева // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 4 (58). – С. 7–22. doi: 10.15802/stp2015/49190.
9. Пелікан, Я. Поширення знань через видавничу діяльність / Ярослав Пелікан ; [пер. з англ. Дарини Морозової] // Дух і літера : зб. наук. ст. – Київ, 2008. – № 19. – С. 158–171.
10. Попова, Т. С. Методика автоматизации процесса верстки печатного издания с переменной графической информацией / Т. С. Попова, А. В. Бизюк // Вост.-Европ. журн. передовых технологий. – 2011. – № 1/10. – С. 24–25.
11. Проблеми комп'ютеризації редакційно-видавничих процесів / І. Піх, В. Сеньківський, Р. Козак, І. Калиній // Комп'ютерні технології друкарства : зб. наук. пр. / Укр. акад. Друкарства. – Львів, 2013. – № 29. – С. 185–193.
12. Юргелайтіс, Н. Г. Подвижники університетської книги (передмова) // Сучасні вид-ва вищ. навч. закладів : матеріали І Всеукр. наук.-практ. конф. (23.09.–26.09.2014) / Одес. нац. ун-т. – Одеса, 2014. – С. 5–7.
13. Якубсон, В. М. Научный журнал в университете: миссия, состояние и перспективы / В. М. Якубсон, Д. Ю. Райчук // Науч. изд. междунар. уровня–2015 : соврем. тенденции в мировой практике редактирования, издания и оценки науч. публ. : 4-я Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург (26.05.–29.05.2015). – Санкт-Петербург, 2015. – С. 179–187.
14. Abadal, E. Gold or green: the debate on open access policies / E Abadal // Intern. Microbiology. – 2013 – № 16 (3). – P. 199–203. doi: 10.2436/20.1501.01.194.
15. Beall, J. Criteria for Determining Predatory Open-Access Publishers [Електронний ресурс] / J. Beall. – 3rd edition. – 2015. – Режим доступу: <https://scholarlyoa.files.wordpress.com/2015/01/criteria-2015.pdf>. – Загл. с экрана. – Проверено : 23.11.2015.
16. Hahn, K. L. Research Library Publishing Services: New Options for University Publishing / K. L. Hahn ; Association of Research Libraries. – Washington, DC: SPARC, 2008. – 40 с.
17. Kennison, R. Toward a scalable and sustainable approach to open access Publishing and archiving for humanities and social sciences societies: A proposal / Rebecca Kennison, Lisa Norberg // Learned Publishing. – 2014. – Vol. 27. – Iss. 3. – P. 223–235. doi:10.1087/20140308.
18. Libraries as Journal Publishers / A. M. Perry, C. A. Borchert, S. D. Timothy [et al.] // Serials Review. – 2011. – Vol. 37. – Iss. 3. – P. 196–204. doi: 10.1016/j.serrev.2011.06.006.
19. Library-as-Publisher: Capacity Building for the Library Publishing Subfield [Електронний

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

- ресурс] / Katherine Skinner, Sarah Lippincott, Julie Speer, Tyler Walters // *The J. of Electronic Publishing*. – 2014. – Vol. 17. – Iss. 2. – Режим доступа: <http://quod.lib.umich.edu/j/jep/3336451.0017-207?view=text;rgn=main>. – Загл. с экрана. – Проверено : 23.11.2015. doi: 10.3998/3336-451.0017.207.
20. Library Publishing Directory 2014 / Edited by Sarah K. Lippincott // *Library Publishing Coalition*. Retrieved 23 October, 2013. – Atlanta : Library Publishing Coalition, 2013. – 228 p.
21. Library Publishing Services: Strategies for Success: Final Research Report [Электронный ресурс] / J. L. Mullins, C. M. Rust, J. L. Ogburn [et al.]. – Washington, DC : SPARC, 2012. – Режим доступа: <http://wp.sparc.arl.org/lps>. – Загл. с экрана. – Проверено : 23.11.2015.
22. Neds-Fox, J. Alignment with Editors' Expectations / J. Neds-Fox, Kristy L. Archuleta // *J. of Librarianship and Scholarly Communication*. – 2014. – Vol. 2. – Iss. 4. – P. 82–89. doi: 10.7710/2162-3309.1178.
23. Researcher-Library Collaborations: Data Repositories as a Service for Researchers / Andrew Gordon, David Millman, Lisa Steiger [et al.] // *J. of Librarianship and Scholarly Communication*. – 2015. – Vol. 3. – Iss. 2. – P. 2–17. doi: 10.7710/2162-3309.1238.
24. What is library publishing? [Электронный ресурс] // Library Publishing Coalition website. – 2014. – Режим доступа: <http://library-publishing.org/about-us>. – Загл. с экрана. – Проверено : 23.11.2015.

Т. О. КОЛЕСНИКОВА^{1*}, І. А. КЛЮШНИК^{2*}

^{1*}Науково-технічна бібліотека, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 05, ел. пошта lib@b.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-4603-4375

^{2*}Каф. «Електронні обчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, ел. пошта klugran@i.ua, ORCID 0000-0001-9939-0755

ВИДАННЯ НАУКОВОЇ ПЕРІОДИКИ В УНІВЕРСИТЕТІ: НОВІ ЗАВДАННЯ, УЧАСНИКИ, ТЕХНОЛОГІЇ

Мета. Видання наукової періодики в університетах є надзвичайно важливим і необхідним елементом в інфраструктурі наукової комунікації. Метою статті є: 1) надання нової моделі системи видання університетської наукової періодики (на прикладі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна – ДНУЗТ); 2) дослідження особливостей моделі «Бібліотечне видавництво» (Library Publishing) і бібліотеки як нового учасника у виданні світової наукової університетської періодики; 3) опис розроблених програмних засобів для автоматизації верстання наукових статей та їх інтеграції у міжнародні БД науково-технічної інформації. **Методика.** Вченими досліджені: 1) система видання наукової періодики в університетах світу, в т.ч. в ДНУЗТ; 2) система інтеграції електронних версій періодичних видань та окремих статей вчених ДНУЗТ у світові наукові БД; 3) видавнича діяльність науково-технічної бібліотеки університету. **Результати.** Авторами доведено необхідність якнайшвидшого поновлення в кожному ВНЗ України системи управління науковою періодикою та створення концепції розвитку періодичних видань. Визначено умови для появи позитивних змін у видавничих процесах у ВНЗ і названий новий учасник цих процесів – університетська бібліотека. Представлений перелік нових завдань, притаманних науковим періодичним виданням університетів. Створено програмний продукт «Цифровий верстальник» як нове прикладне інформаційно-технологічне рішення для розширення функціональності базової інформаційної системи видання відповідно до його редакційної політики. **Наукова новизна.** Вченими досліджено процес трансформації організаційної структури видання наукової періодики в університетах України та світу. Доведено, що в сьогоденних умовах для видавництва університетської наукової періодики найбільш раціональним є перехід до нової моделі системи видання, особливістю якої – відмова від суто друкованої та впровадження змішаної моделі публікації. Дана модель передбачає, що традиційна друкована продукція доповнюється формою «Epub ahead of print» (e-публікація перед друком) із використанням сайту журналу як оперативного каналу розповсюдження публікацій. **Практичне значення.** Перехід університетів на нову модель системи видання наукової періодики, формування сучасної концепції наукового журналу, створення актуальних програмних засобів (наприклад, автоматизації верстання наукових статей та інтеграції публікацій в бази даних науково-

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

технічної інформації) дозволять поліпшити якість журналів й їх конкурентоспроможність на міжнародному рівні.

Ключові слова: наукова періодика; видання наукових журналів; університет; університетська бібліотека; нова редакційна політика; якість наукового журналу; модель публікації; форма «Epub ahead of print»; програма «Цифровий верстальник»

T. O. KOLESNYKOVA^{1*}, I. A. KLIUSHNYK^{2*}

^{1*}Scientific and Technical Library, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 05, e-mail lib@b.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-4603-4375

^{2*}Dep. «Electronic Computing Machines», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 89, e-mail klugran@i.ua., ORCID 0000-0001-9939-0755

PUBLICATION OF SCIENTIFIC PERIODICALS AT UNIVERSITIES: NEW CHALLENGES, PARTICIPANTS TECHNOLOGY

Purpose. Publication of scientific periodicals in the Universities is very important and necessary element in the infrastructure of scientific communication. The aim of the article is: 1) providing a new model of publication system of the University scientific periodicals (on the example of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan – DNURT); 2) studying the peculiarities of the «Library publishing» model (Library Publishing) and library as a new participant in the publication of world scientific periodicals of the University; 3) description of the developed software automation typesetting of scientific articles and their integration into international databases of scientific and technical information. **Methodology.** The scientists investigated: 1) the system of publication of scientific periodicals at DNURT; 2) integration system of electronic versions of periodicals and individual articles of scientists from DNURT into the world scientific databases; 3) publishing activity of the scientific and technical library of the University. **Findings.** The authors proved the need for the fast updates in each higher education institution of Ukrainian management system of scientific periodicals and the creation of the periodicals development concept. The conditions for the occurrence of positive changes in the publishing process in Universities were determined and named as a new participant in these processes – University library. The list of new tasks inherent in the scientific periodicals of the Universities was presented. The software product «Digital designer» was created as a new applied information technology solution to extend the functionality of the basic system information of the publication according to its editorial policy. **Originality.** The scientists studied the transformation process of the organizational structure of scientific periodicals publishing in the Universities of Ukraine and the world. It is proved that in today's conditions for the University publishers of scientific periodicals transition to a new model of publication system of the University scientific periodicals is the most rational, a feature of which is the rejection of purely printing and the introduction of hybrid model of publication. This model assumes that traditional print products is complemented with a form of «Epub ahead of print» (e-publication before printing) using the journal's website as an operational channel for the dissemination of publications. **Practical value.** The Universities transition to the new model system for the publication of scientific periodicals, modern concept formation of the scientific journal, creation of relevant software tools (e.g. automation of typesetting the scientific articles and the integration of publications in the database of scientific and technical information) will allow improving the quality of journals and their competitiveness at the international level.

Keywords: scientific periodicals; publication of scientific journals; University; University Library; new editorial policy; quality of the scientific journal; publishing model; «Epub ahead of print» form; «Digital designer» program

REFERENCES

1. Dubas T.P. Rozvytok vydavnychoi diialnosti naukovoï biblioteky v systemi sotsialnykh komunikatsii [Publishing development of scientific library in the social communication system]. *Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni problemy diialnosti bibliotek v umovakh informatsiinoho suspilstva (10.09-11.09.2015)»* [Proc. of Int. Sci. and Practical Conf. «Modern problems of libraries in the information society»]. Lviv. Available at: http://nbuviap.gov.ua/images/konferenciya/konf_lviv/Dubas.pdf (Accessed 23 November 2015).

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

2. Yelizarov A.M., Zuyev D.S., Lipachev Ye.K. Infrastruktura elektronnoho nauchnogo zhurnala i oblachnyye servisy podderzhki zhiznennogo tsikla elektronnykh publikatsiy [E-infrastructure of scientific journal, and cloud services of life cycle support of electronic publications]. *Elektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tekhnologii, elektronnyye kolleksii (13.10-16.10.2014) : trudy 16-y Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii* [Digital libraries: advanced methods and technologies, digital collections : Proc. of 16-th all-Russian Scientific Conf.]. Dubna, 2014, pp. 283-286.
3. Kapelev V.V. *Programmnyye sredstva obrabotki informatsii. Ch. 1. Programmy obrabotki tekstovoy informatsii* [Software tools for information processing. Part 1. Programs for processing text information]. Moscow, MGUP Publ., 2000. 320 p.
4. Kliushnyk I.A. Tsyfrovi vydavnychi servisy universytetskoï biblioteki: prohramne zabezpechennia «Elektronnyi verstalnyk» [Digital publishing services of the University library: «E-coder» software]. *Suchasni problemy diialnosti bibliotek v umovakh informatsiinoho suspilstva : materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (10.09.–11.09.2015)* [Modern problems of libraries activity in the information society : materials of intern. sci.-pract. conf. (10.09.–11.09.2015)]. Lviv, 2015. Available at: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/4301/4/Kliushnyk.pdf> (Accessed 23 November 2015).
5. Kolesnykova T.O. Integratsiya ukrainskoy otraslevoy nauchnoy periodiki v mirovoye nauchno-informatsionnoe prostranstvo: problemy i resheniya [Integration of ukrainian industry scientific periodicals into world scientific information space: problems and solutions]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 6 (48), pp. 7-22. doi: 10.15802/stp2013/19835.
6. Kolesnikova T.A. Kommunikatsionnye modeli deyatelnosti bibliotek vysshey shkoly [Communication model of activity of libraries of the higher school]. *Bibliotekovedeniye – Library and Information Science*, 2014, no. 1, pp. 114-122.
7. Kolesnykova T.O., Myrhorodska A.I. Naukovo-vydavnycha model «Library Rublishing» v universytetskykh bibliotekakh Ukrainy ta svitu [The scientific and publishing model «Publishing Library» in University libraries of Ukraine and the world]. *Visnyk Knyzhkovoi palaty* [Bulletin of the Book Chamber], 2015, no. 3, pp. 24-28.
8. Kolesnykova T.O., Matveyeva O.V. Otsenka rezultativnosti nauchnykh issledovaniy: bibliometriya [Performance assesment of the research: bibliometrics]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2015, no. 4 (58), pp. 7-22. doi: 10.15802/stp2015/49190.
9. Pelikan Ya., Moroz D. Poshyrennia znan cherez vydavnychu diialnist [Dissemination of knowledge through publishing]. *Dukh i litera – Spirit and Letter*, 2008, no. 19, pp. 158-171.
10. Popova T.S., Bizyuk A.V. Metodika avtomatizatsii protsessa verstki pechatnogo izdaniya s peremennoy graficheskoy informatsiyei [The methodology of automating the process of typesetting the print edition with variable graphical information]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – East-European Journal of Advanced Technologies*, 2011, no. 1/10, pp. 24-25.
11. Pikh I., Senkivskiy V., Kozak R., Kalynii I. Problemy kompiuteryzatsii redaktsiino-vydavnychikh protsesiv [Problems of computerization of the editorial process]. *Kompiuterni tekhnologii drukarstva : zbirnyk naukovykh prats* [Computer technologies of printing : Proc.]. Lviv, 2013, no. 29, pp. 185-193.
12. Yurhelaitis N.H. Podvyzhyky universytetskoï knyhy [Ascetics of University book]. *Suchasni vydavnytstva vyshchykh navchalnykh zakladiv : materialy I Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii (23.09–26.09.2014)* [Modern publishers of higher education : materials of all-Ukrainian scientific-practical conf. (23.09–26.09.2014)]. Odesa, 2014, pp. 5-7.
13. Yakubson V.M., Raychuk D.Yu. Nauchnyy zhurnal v universitete: missiya, sostoyaniye i perspektivy [The scientific journal at the University: mission, status and prospects]. *Nauchnoye izdatelstvo mezhdunarodnogo urovnya–2015 : sovremennyye tendentsii v mirovoy praktike redaktirovaniya, izdaniya i otsenki nauchnoy publikatsii : 4-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Sankt-Peterburg (26.05–29.05.2015)* [The scientific publishing house of the international level in 2015 : current trends in world practice of editing, publication and evaluation of scientific publications : 4th Intern. Sci. and Practical Conf. St. Petersburg]. Saint-Petersburg, 2015, pp. 179-187.
14. Abadal E. Gold or green: the debate on open access policies. *Intern. Microbiology*, 2013, no. 16 (3), pp. 199-203. doi: 10.2436/20.1501.01.194.
15. Beall J. Criteria for Determining Predatory Open-Access Publishers. 2015. Available at: <https://scholarlyoa.files.wordpress.com/2015/01/criteria-2015.pdf> (Accessed 23 November 2015).

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

16. Hahn K.L. Research Library Publishing Services: New Options for University Publishing. Association of Research Libraries. Washington, DC, SPARC Publ., 2008. 40 p.
17. Kennison R., Norberg L. Toward a scalable and sustainable approach to open access Publishing and archiving for humanities and social sciences societies: A proposal. *Learned Publishing*, 2014, vol. 27, issue 3, pp. 223-235. doi:10.1087/20140308.
18. Perry A.M., Borchet C.A., Timothy S.D. Libraries as Journal Publishers. *Serials Review*, 2011, vol. 37, issue 3, pp. 196-204. doi: 10.1016/j.serrev.2011.06.006.
19. Skinner K., Lippincott S., Sper J., Walters T. Library-as-Publisher: Capacity Building for the Library Publishing Subfield. *The Journal of Electronic Publishing*, 2014, vol. 17, issue 2. Available at: <http://quod.lib.umich.edu/jjep/3336451.0017.207?view=text;rgn=main> (Accessed 23 November 2015). doi: 10.3998/3336451.0017.207.
20. Lippincott S.K. Library Publishing Directory 2014. Library Publishing Coalition. Retrieved 23 October, 2013. Atlanta : Library Publishing Coalition Publ., 2013. 228 p.
21. Mullins J.L., Rust C.M., Ogburn J.L. Library Publishing Services: Strategies for Success: Final Research Report. Washington, DC, SPARC Publ., 2012. Available at: <http://wp.sparc.arl.org/lps>. (Accessed: 23.Nov.2015).
22. Neds-Fox J., Archuleta K.L. Alignment with Editors' Expectations. *Journal of Librarianship and Scholarly Communication*, 2014, vol. 2, issue 4, pp. 82-89. doi: 10.7710/2162-3309.1178.
23. Gordon A., Millman D., Steiger L. Researcher-Library Collaborations: Data Repositories as a Service for Researchers. *Journal of Librarianship and Scholarly Communication*, 2015, vol. 3, issue 2, pp. 2-17. doi: 10.7710/2162-3309.1238.
24. What is library publishing? Library Publishing Coalition website, 2014. Available at: <http://librarypublishing.org/about-us>. (Accessed 23 November 2015).

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. С. В. Мямлиным (Украина); к.ист.н., директором ТОВ «Видавнича служба УРАН» Д. В. Соловяненко (Украина)

Поступила в редколлегию 16.09.2015

Принята к печати 19.11.2015

**ТЕМАТИЧНИЙ ПОКАЗЧИК ЖУРНАЛУ «НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ»
ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ» ЗА 2015 РІК**

Назва статті	№ журналу	Стор.
Наука та прогрес транспорту		
Некомпетентність в науці та техніці – гальмо прогресу, або про рейдерство у сфері науково-дослідницьких послуг <i>С. В. Мямлін</i>	1	7
Методика визначення обсягів споживання електричної енергії та теплоти науковими підрозділами університету <i>О. М. Пішійко, В. Г. Кузнецов, М. В. Шантала, Д. Є. Шантала</i>	1	15
Ретроспективний аналіз формування наукового потенціалу Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна <i>С. В. Мямлін, І. В. Агієнко</i>	2	7
Оцінка результативності наукових досліджень: бібліометрія <i>Т. О. Колесникова, О. В. Матвєєва</i>	4	7
Перспективи розвитку залізничного туризму України на вузькоколійних лініях Закарпаття <i>В. Г. Кузнецов, П. О. Пішійко, І. В. Клименко, А. В. Гуменюк, С. М. Загорулько</i>	4	23
Автоматизовані системи управління на транспорті		
Дистанційне діагностування стану стрілочних переводів за часовою характеристикою та спектральною складовою кривої струму <i>С. Ю. Буряк, В. І. Гаврилюк, О. О. Гололобова, М. О. Ковригін</i>	2	39
Управління командними системами, що впливають на експлуатаційну безпеку залізниці <i>М. Паулік</i>	2	58
Впровадження системи технічної діагностики стрілочних переводів <i>С. Ю. Буряк, В. І. Гаврилюк, О. О. Гололобова</i>	3	7
Дослідження механізмів впливу контактної мережі на рейкові кола <i>В. І. Щека</i>	3	27
Випробування нових типів рухомого складу на електромагнітну сумісність із пристроями сигналізації та зв'язку <i>В. І. Гаврилюк, В. І. Щека, В. В. Мелешко</i>	5	7
Використання методу планування експерименту для оцінки точності ідентифікації рухомих одиниць <i>О. Й. Єгоров</i>	6	7
Екологія на транспорті		
Дослідження забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту у «вуличних каньйонах» міста <i>Т. І. Русакова</i>	1	23
Оцінка екологічної ситуації при аваріях на дорогах міста <i>Т. І. Русакова</i>	2	65
Чисельний розрахунок роботи горизонтальних відстійників <i>М. М. Біляєв, В. А. Козачина</i>	4	34
Економіка та управління		
Модель розрахунку величини збору за доступ до об'єктів колійної інфраструктури <i>М. І. Міщенко</i>	1	35
Визначення оптимального розподілу капіталовкладень для забезпечення сталого розвитку залізниць <i>О. І. Харченко</i>	2	77
Методичний підхід щодо визначення інфраструктурної складової витрат на курсування окремого пасажирського поїзда <i>Ю. С. Бараш, Х. В. Кравченко, М. Ф. Зенчук</i>	4	44
Розвиток залізничного туризму в Україні як засобу організації доступного відпочинку <i>Л. В. Марценюк, Ю. М. Проскурня</i>	5	16

Назва статті	№ журналу	Стор.
Експлуатація та ремонт засобів транспорту		
Формування інтелектуальної моделі функціонування залізничної станції під час виконання поїзної роботи <i>О. В. Лаврухін</i>	1	43
Модель оцінки залишкової довговічності рами візка локомотива з урахуванням повзучості <i>В. Р. Скальський, І. Я. Долінська, О. В. Рудавський, Р. Я. Ярема, В. Р. Бас</i>	1	54
Моделювання керуючої діяльності машиніста локомотива за допомогою теорії нечітких графів <i>Т. В. Бутько, О. М. Горобченко</i>	2	88
Дослідження впливу експлуатаційних показників оцінки профілю колії на пропускну спроможність залізниць <i>В. Л. Горобець, С. І. Музикіна, М. І. Музикін</i>	2	97
Резерви часу при організації руху вантажних поїздів за розкладом <i>Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, В. О. Баланов, В. В. Журавель</i>	2	105
Визначення оптимального режиму гальмування керованого відчепа розрахункової групи <i>А. С. Дорош</i>	3	36
Визначення розрахункових обсягів роботи для магістральних та промислових залізничних станцій <i>Д. М. Козаченко, А. І. Верлан, О. В. Горбова</i>	3	45
Вплив основних параметрів поїздопотоку на загальний прибуток залізниць <i>Г. Я. Мозолевич, А. В. Троян</i>	3	58
Шляхи підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту в сучасних умовах <i>П. В. Бех, Г. І. Нестеренко, С. І. Музикіна, О. В. Лашков, М. І. Музикін</i>	5	25
Визначення енергозаощаджуючих режимів розгону поїздів <i>Б. Є. Боднар, М. І. Капіца, А. М. Афанасов, Д. М. Кислий</i>	5	40
Інформаційно-вимірювальна система випробування гідравлічних передач тепловозів <i>І. В. Жуковицький, І. А. Ключник, О. Б. Очкасов, Р. О. Коренюк</i>	5	53
Формалізація моделі роботи дизеля з урахуванням оцінки швидкості процесів згоряння <i>В. П. Литвиненко</i>	5	66
Підвищення енергоефективності випробувань гідравлічних передач тепловозів в умовах локомотиворемонтного заводу <i>Б. Є. Боднар, М. І. Капіца, О. Б. Очкасов, Р. О. Коренюк</i>	6	16
Комплексна імітаційна модель процесу розформування составів на сортувальних гірках <i>С. Б. Демченко</i>	6	25
Електричний транспорт		
Дослідження експлуатації силового обладнання системи тягового електропостачання залізниць <i>О. О. Матусевич, Д. В. Міронов</i>	1	62
Термін служби допоміжних машин електропоїздів змінного струму <i>О. Ю. Балійчук</i>	2	116
Математична модель напівпровідникового перетворювача з п'ятизонним регулюванням вихідної напруги та електромеханічним навантаженням <i>В. В. Михайленко, С. А. Абдулаєв, В. В. Ернст, В. В. Чупак</i>	2	129
Математична модель аналізу збитку системи тягового електропостачання залізниць <i>О. О. Матусевич</i>	3	77
Підтвердження адекватності математичної моделі лінійного синхронного двигуна <i>В. Ф. Новіков</i>	3	88
Змістовна модель та рівняння руху електричного транспорту <i>К. О. Сорока, Д. О. Личов</i>	3	97

Назва статті	№ журналу	Стор.
Підвищення ресурсу вугільних струмознімальних вставок струмоприймачів швидкісного електрорухомого складу в умовах експлуатації <i>Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов</i>	4	57
Дослідження властивостей струмознімальних елементів та їх впливу на ефективність роботи трибосистеми «контактний провід – вугільна вставка» <i>Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов</i>	6	35
Залізнична колія		
Стосовно питань моделювання життєвого циклу деформативної роботи елементів залізничної колії <i>І. О. Бондаренко</i>	1	78
До вирішення задач розрахунку колії на міцність із урахуванням нерівнопружності підрейкової основи <i>Д. М. Курган</i>	1	90
Особливості сприйняття навантаження елементами залізничної колії при високих швидкостях руху <i>Д. М. Курган</i>	2	136
Дослідження напруженого стану в елементах вузла скріплення типу кпп-5 під дією рухомого складу <i>М. П. Настечик, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль</i>	2	146
Формування оціночних умов життєвого циклу деформативної роботи залізничної колії <i>І. О. Бондаренко</i>	3	107
Визначення динамічного навантаження від колеса на рейку для швидкісних поїздів <i>Д. М. Курган</i>	3	118
Визначення контактних напружень в рейках типу Р50, які експлуатуються в метрополітені <i>О. В. Агарков, Р. М. Йосифович</i>	4	71
Особливості дослідження процесу деформативної роботи елементів залізничної колії <i>І. О. Бондаренко</i>	4	87
Моделювання накопичення деформацій залізничної колії на основі ентропії системи <i>Д. М. Курган</i>	4	99
Вплив пружних деформацій в елементах скріплення типу КПП-5 на величину сили притискання рейки до підрейкової основи <i>М. П. Настечик, Р. В. Маркуль, В. В. Савицький</i>	4	110
Удосконалення методики вимірювання горизонтальних нерівностей у плані <i>О. М. Патласов, С. О. Токарев</i>	4	121
Особливості процесу розповсюдження коливань при деформативній роботі залізничної колії <i>І. О. Бондаренко</i>	5	75
Дослідження нерівностей колії в межах залізничних переїздів <i>М. Б. Курган, Д. М. Курган, О. Ф. Лужицький</i>	5	84
Дослідження внутрішнього опору зсуву георешіток, які вкладені під баластний шар для його захисту <i>С. Фішер</i>	5	97
Особливості деформативної роботи залізничної колії <i>І. О. Бондаренко</i>	6	45
Експериментальні дослідження горизонтальної поперечної жорсткості рейкових ниток при різних конструкціях рейкових скріплень <i>В. П. Велінець</i>	6	57
Новітні дослідження бічної пружності рейкових ниток при спільній дії вертикальних і горизонтальних сил <i>Е. І. Даніленко</i>	6	65
Дослідження залишкового ресурсу дефектних рейок типу Р50 із випробуваннями на циклічну витривалість <i>Р. М. Йосифович</i>	6	78

Назва статті	№ журналу	Стор.
Розрахунок елементів з'єднання збірного дерев'яного бруса для стрілочних переводів <i>О. М. Патласов, С. О. Токарев</i>	6	88
Матеріалознавство		
Процес формування ушкоджень залізничних коліс та бандажів при експлуатації <i>М. А. Грищенко</i>	1	100
Вплив легування на температуру перетворення «перлит → аустенит» у комплексно-легованих білих чавунах <i>Т. В. Пастухова, В. Г. Єфременко, О. П. Чейлях, К. Шимідзу, Ю. Г. Чабак</i>	1	113
Залежність розміру зерна аустеніту в сталі залізничного колеса від параметрів гарячої деформації <i>Л. І. Вакуленко</i>	2	157
Зміна механічних властивостей та корозійне розтріскування під напруженням матеріалу металоконструкції стріли буртоукладника <i>Л. К. Поліщук, Р. Д. Іскович-Лотоцький, О. О. Коваль</i>	2	168
Підвищення механічних властивостей литої графітизованої сталі. <i>І. В. Акімов</i>	3	129
Залежність швидкості розповсюдження звукових коливань від розміру зерна фериту в низьковуглецевій сталі <i>І. О. Вакуленко, Ю. Л. Надеждін, В. А. Сокірко, Сю Ся Хай</i>	3	137
Порівняльний аналіз комплексу механічних властивостей, отриманих при випробуваннях готових болтів та обточених зразків <i>Ю. П. Гуль, А. В. Івченко, П. В. Кондратенко, Г. І. Перчун</i>	4	132
Вплив імпульсу напруження від електричного розряду у воді на витривалість при втомі вуглецевої сталі <i>І. О. Вакуленко, А. Г. Лісник, О. М. Перков, Сю Ся Хай</i>	5	107
Моделювання задач транспорту та економіки		
Про оптимізацію обсягу інвестицій для поліпшення основних показників ефективності роботи підприємства <i>З. М. Гасанов</i>	1	122
Моделювання роботи сортувальної станції за допомогою мови UML <i>О. В. Горбова</i>	1	129
Дослідження інжинірингу трафіка в комп'ютерній мережі Укрзалізниці за технологією MPLS TE <i>В. М. Пахомова</i>	1	139
Дослідження міцності контейнера-цистерни удосконаленої конструкції при комп'ютерному моделюванні експлуатаційних умов <i>А. О. Ловська, О. В. Фомін, А. М. Огороков, О. М. Мельничук</i>	2	180
Множинні об'єкти <i>А. А. Босов, В. М. Ільман, Н. В. Халіпова</i>	3	145
Проектування та оцінка ефективності міжнародних логістичних систем <i>Н. В. Халіпова</i>	4	142
Нетрадиційні види транспорту		
Дослідження впливу проектної продуктивності елеватору на потужність його приводу <i>В. М. Богомаз, К. Ц. Главацький, О. А. Мазур</i>	2	189
Аналіз впливу проектних характеристик елеватора на параметри його приводу <i>В. М. Богомаз</i>	3	162
Імітаційні моделі опору руху бетонної суміші в бетоноводі автобетононасоса <i>П. Г. Анофрієв</i>	5	115
Спосіб визначення потужності приводу механізмів пересування мостового крану при обліку тертя кочення <i>В. М. Богомаз, Л. М. Бондаренко, К. Ц. Главацький, К. О. Сокол</i>	5	123
Зниження динамічної навантаженості роботи механізмів у перехідних режимах <i>В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич</i>	6	101

Назва статті	№ журналу	Стор.
Рухомий склад і тяга поїздів		
Вплив напрацювання локомотивів на коректування періодичності технічного обслуговування та поточного ремонту <i>О. С. Крашенінін</i>	1	148
Аналіз експлуатаційних характеристик вантажних тепловозів <i>Л. В. Урсуляк, В. О. Сиротенко</i>	1	155
Про оцінку рівня поздовжніх сил, що впливають на угон шляху, при перехідних режимах руху поїзда <i>В. Л. Горобець, Л. Г. Маслєєва, Л. В. Урсуляк, В. В. Арсонов</i>	2	207
Поліпшення техніко-енергетичних параметрів тепловозів за рахунок впровадження автоматизованих систем керування дизелем <i>М. І. Каница, М. І. Мартишевський, Д. М. Кислий, І. І. Палій</i>	3	176
Оцінка динамічних показників шестивісного локомотива <i>С. В. Мямлін, Н. Ю. Науменко, О. М. Маркова, О. М. Ковтун, В. В. Малий</i>	3	186
Теоретичні основи гасителів коливань тертям кочення <i>Л. М. Бондаренко, С. О. Яковлев, І. Є. Крамар, О. І. Шантала</i>	4	153
Моделювання взаємодії екіпажів пасажирського поїзда, обладнаного системою пасивної безпеки, при аварійному зіткненні з перешкодою <i>Н. Ю. Науменко, І. Ю. Хижа</i>	4	163
Деякі аспекти визначення стійкості порожніх вагонів від вичавлювання їх поздовжніми силами у вантажних потягах <i>А. О. Швець, К. І. Желєзнов, А. С. Акулов, О. М. Заболотний, Є. В. Чабанюк</i>	4	175
Обґрунтування продовження терміну служби пасажирських вагонів із осередками корозії хребтової балки <i>С. В. Мямлін, О. Г. Рейдемейстер, А. Л. Пуларія, В. О. Калашник</i>	5	132
Способи збільшення міцності бічних рам трьохелементних візків <i>О. Г. Рейдемейстер, О. А. Шикунів</i>	5	141
Проблема визначення терміну «надійність». Методологія побудови та вивчення надійності вантажних вагонів <i>С. В. Мямлін, Л. А. Мурадян, Д. М. Барановський</i>	6	110
Розробка рекомендацій із продовження терміну корисної експлуатації пасажирських вагонів <i>С. В. Мямлін, О. Г. Рейдемейстер, А. Л. Пуларія, В. О. Калашник</i>	6	118
Визначення гальмового шляху несамохідного рухомого складу методом послідовних гальмувань <i>О. Г. Рейдемейстер, В. Ю. Шапошник</i>	6	127
До питання визначення коефіцієнту запасу стійкості від вичавлювання легковагонів <i>А. О. Швець, К. І. Желєзнов, А. С. Акулов, О. М. Заболотний, Є. В. Чабанюк</i>	6	134
Транспортне будівництво		
Обґрунтування стабілізації параметрів укріпленого залізничного насипу <i>В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін, О. М. Кулаженко, А. М. М. Алхдур</i>	1	165
Аналіз існуючих проблем організаційно-технологічної надійності покрівельних систем <i>А. В. Радкевич, В. Ф. Худенко, В. М. Глущенко</i>	2	222
Вплив товщини гофрованого елемента на напружено-деформований стан металевих гофрованих конструкцій <i>В. В. Ковальчук</i>	3	199
Використання геометричного моделювання при проектуванні змішувачів телескопічної конструкції <i>К. К. Мірошніченко</i>	4	190
Моделювання насипу земляного полотна на слабкій основі <i>В. Д. Петренко, І. О. Святко</i>	4	198
Визначення аспектів оцінювання надійності фасадних систем із точки зору eurocode <i>А. В. Радкевич, К. М. Нетеса</i>	4	205

Назва статті	№ журналу	Стор.
Удосконалення розрахунку стійкості будівлі, розташованої поблизу укосів на структурно-нестійких ґрунтах <i>М. С. Іванова, С. В. Коновал, С. Ф. Абед</i>	5	150
Конструкція раціонального сталевого гофрованого профілю <i>В. В. Качуренко, Д. О. Банніков</i>	5	160
Проведення та аналіз результатів експериментального лоткового випробування моделей підпірної стіни без паль і на пальовому фундаменті <i>М. А. Лісневський, В. О. Сухорський</i>	5	169
Дослідження несучої здатності металевої гофрованої конструкції за критерієм розвитку пластичного шарніру <i>Й. Й. Лучко, В. В. Ковальчук, О. С. Набоченко</i>	5	180
Система управління складом та властивостями гідротехнічного бетону <i>О. М. Пишійко, А. В. Краснюк, О. В. Громова</i>	5	195
Дослідження причин передчасного руйнування залізобетонних шпал на Знам'янській дистанції колії ПЧ 10 Одеської залізниці <i>В. В. Коваленко, Ю. Л. Заяць, П. О. Пишійко</i>	6	149
Покращення властивостей бетону підрейкових основ за допомогою хімічних добавок <i>В. В. Пристинська</i>	6	164
Фізико-хімічна модифікація цементної системи монолітного бетону <i>Д. В. Руденко</i>	6	174
Розвиток вищої школи		
Веб-квест як цінний ресурс та ефективний інструмент у вивченні та викладанні англійської мови <i>К. М. Перерва</i>	3	208
Інформатизація суспільства: філософсько-антропологічні проблеми <i>А. А. Косолапов</i>	4	213
Видання наукової періодики в університеті: нові завдання, учасники, технології. <i>Т. О. Колесникова, І. А. Ключник</i>	6	183

**ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЖУРНАЛА «НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА.
ВЕСТНИК ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА» ЗА 2015 ГОД**

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Наука и прогресс транспорта		
Некомпетентность в науке и технике – тормоз прогресса, или о рейдерстве в сфере научно-исследовательских услуг <i>С. В. Мямлин</i>	1	7
Методика определения объемов потребления электрической энергии и теплоты научными подразделениями университета <i>А. Н. Пишинько, В. Г. Кузнецов, М. В. Шантала, Д. Е. Шантала</i>	1	15
Ретроспективный анализ формирования научного потенциала Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна <i>С. В. Мямлин, И. В. Агценко</i>	2	7
Оценка результативности научных исследований: библиометрия <i>Т. А. Колесникова, Е. В. Матвеева</i>	4	7
Перспективы развития железнодорожного туризма Украины на узкоколейных линиях Закарпатья <i>В. Г. Кузнецов, П. А. Пишинько, И. В. Клименко, А. В. Гуменюк, С. М. Загоруйко</i>	4	23
Автоматизированные системы управления на транспорте		
Дистанционное диагностирование состояния стрелочных переводов по временной характеристике и спектральному составу токовой кривой <i>С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова, М. А. Ковригин</i>	2	39
Управление командными системами, воздействующими на эксплуатационную безопасность железной дороги <i>М. Паулик</i>	2	58
Внедрение системы технической диагностики стрелочных переводов <i>С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова</i>	3	7
Исследования механизмов влияния контактной сети на рельсовые цепи <i>В. И. Щека</i>	3	27
Испытания новых типов подвижного состава на электромагнитную совместимость с устройствами сигнализации и связи <i>В. И. Гаврилюк, В. И. Щека, В. В. Мелешко</i>	5	7
Использование метода планирования эксперимента для оценки точности идентификации подвижных единиц <i>О. И. Егоров</i>	6	7
Экология на транспорте		
Исследование загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта в «уличных каньонах» города <i>Т. И. Русакова</i>	1	23
Оценка экологической ситуации при авариях на дорогах города <i>Т. И. Русакова</i>	2	65
Численный расчет работы горизонтальных отстойников <i>Н. Н. Беляев, В. А. Козачина</i>	4	34
Экономика и управление		
Модель расчета величины сбора за доступ к объектам путевой инфраструктуры <i>М. И. Мищенко</i>	1	35
Определение оптимального распределения капиталовложений для обеспечения устойчивого развития железных дорог <i>О. И. Харченко</i>	2	77
Методический подход к определению инфраструктурной составляющей расходов на курсирование отдельного пассажирского поезда <i>Ю. С. Барац, К. В. Кравченко, М. Ф. Зенчук</i>	4	44
Развитие железнодорожного туризма в Украине как средства организации доступного отдыха <i>Л. В. Марценюк, Ю. М. Проскурня</i>	5	16

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Эксплуатация и ремонт средств транспорта		
Формирование интеллектуальной модели функционирования железнодорожной станции при выполнении поездной работы <i>А. В. Лаврухин</i>	1	43
Модель оценки остаточной долговечности рамы тележки локомотива с учетом ползучести <i>В. Р. Скальский, И. Я. Долинская, Д. В. Рудаковский, Р. Я. Ярема, В. Р. Бас</i>	1	54
Моделирование управляющей деятельности машиниста локомотива с помощью теории нечетких графов <i>Т. В. Бутько, А. Н. Горобченко</i>	2	77
Исследование влияния эксплуатационных показателей оценки профиля пути на пропускную способность железных дорог <i>В. Л. Горобец, С. И. Музыкина, М. И. Музыкин</i>	2	97
Резервы времени при организации движения грузовых поездов по расписанию <i>Д. Н. Козаченко, Н. И. Березовый, В. О. Баланов, В. В. Журавель</i>	2	105
Определение оптимального режима торможения управляемого отцепы расчетной группы <i>А. С. Дорош</i>	3	36
Определение расчетных объемов работ для магистральных и промышленных железнодорожных станций <i>Д. Н. Козаченко, А. И. Верлан, А. В. Горбова</i>	3	45
Влияние основных параметров поездопотока на общую прибыль железных дорог <i>Г. Я. Мозолевиц, А. В. Троян</i>	3	58
Пути повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта в современных условиях <i>П. В. Бех, Г. И. Нестеренко, С. И. Музыкина, А. В. Лашков, М. И. Музыкин</i>	5	25
Определение энергосберегающих режимов разгона поездов <i>Б. Е. Боднар, М. И. Капица, А. М. Афанасов, Д. Н. Кислый</i>	5	40
Информационно-измерительная система испытания гидравлических передач тепловозов <i>И. В. Жуковицкий, И. А. Ключник, А. Б. Очкасов, Р. А. Коренюк</i>	5	53
Формализация модели работы дизеля с учетом оценки скорости процессов сгорания <i>В. П. Литвиненко</i>	5	66
Повышение энергоэффективности испытаний гидравлических передач тепловозов в условиях локомотиворемонтного завода <i>Б. Е. Боднар, М. И. Капица, А. Б. Очкасов, Р. А. Коренюк</i>	6	16
Комплексная имитационная модель процесса расформирования составов на сортировочных горках <i>Е. Б. Демченко</i>	6	25
Электрический транспорт		
Исследование эксплуатации силового оборудования системы тягового электроснабжения железных дорог <i>А. А. Матусевич, Д. В. Миронов</i>	1	62
Срок службы вспомогательных машин электропоездов переменного тока <i>А. Ю. Балийчук</i>	2	116
Математическая модель полупроводникового преобразователя с пятизонным регулированием выходного напряжения и электромеханической нагрузкой <i>В. В. Михайленко, С. А. Абдулаев, В. В. Эрнст, В. В. Чупак</i>	2	129
Математическая модель анализа ущерба системы тягового электроснабжения железных дорог <i>А. А. Матусевич</i>	3	77
Подтверждение адекватности математической модели линейного синхронного двигателя <i>В. Ф. Новиков</i>	3	88
Содержательная модель и уравнения движения электрического транспорта <i>К. А. Сорока, Д. А. Лычов</i>	3	97

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Повышение ресурса угольных токосъемных вставок токоприемников скоростного электроподвижного состава в условиях эксплуатации <i>Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов</i>	4	57
Исследование свойств токосъемных элементов и их влияния на эффективность работы трибосистемы «контактный провод – угольная вставка» <i>Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов</i>	6	35
Железнодорожный путь		
К вопросу моделирования жизненного цикла деформативной работы элементов железнодорожного пути <i>И. А. Бондаренко</i>	1	78
К решению задач расчета пути на прочность с учетом неравноупругости подрельсового основания <i>Д. Н. Курган</i>	1	90
Особенности восприятия нагрузки элементами железнодорожного пути при высоких скоростях движения <i>Д. Н. Курган</i>	2	136
Исследование напряженного состояния в элементах узла скрепления типа КПП-5 под действием подвижного состава <i>М. П. Настечик, И. А. Бондаренко, Р. В. Маркуль</i>	2	146
Формирование оценочных условий жизненного цикла деформационной работы железнодорожного пути <i>И. А. Бондаренко</i>	3	107
Определение динамической нагрузки от колеса на рельс для скоростных поездов <i>Д. Н. Курган</i>	3	118
Определение контактных напряжений в рельсах типа Р50, которые эксплуатируются в метрополитене <i>А. В. Азарков, Р. Н. Йосифович</i>	4	71
Особенности исследования процесса деформативной работы элементов железнодорожного пути <i>И. А. Бондаренко</i>	4	87
Моделирование накопления деформаций железнодорожного пути на основе энтропии системы <i>Д. Н. Курган</i>	4	99
Влияние упругих деформаций в элементах скрепления типа КПП-5 на величину силы прижатия рельса к подрельсовому основанию <i>Н. П. Настечик, Р. В. Маркуль, В. В. Савицкий</i>	4	110
Усовершенствование методики измерения горизонтальных неровностей в плане <i>А. М. Патласов, С. А. Токарев</i>	4	121
Особенности процесса распространения колебаний при деформативной работе железнодорожного пути <i>И. А. Бондаренко</i>	5	75
Исследования неровностей пути в пределах железнодорожных переездов <i>Н. Б. Курган, Д. Н. Курган, О. Ф. Лужицкий</i>	5	84
Исследование внутреннего сопротивления сдвигу георешеток, уложенных под балластный слой для его защиты <i>С. Фишер</i>	5	97
Особенности деформативной работы железнодорожного пути <i>И. А. Бондаренко</i>	6	45
Экспериментальные исследования горизонтальной поперечной жесткости рельсовых нитей при разных конструкциях рельсовых скреплений <i>В. П. Велинец</i>	6	57
Новейшие исследования боковой упругости рельсовых нитей при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил <i>Э. И. Даниленко</i>	6	65
Исследование остаточного ресурса дефектных рельсов типа Р50 по испытанию на циклическую выносливость <i>Р. Н. Йосифович</i>	6	78

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Расчёт элементов соединения сборного деревянного бруса для стрелочных переводов <i>А. М. Патласов, С. А. Токарев</i>	6	88
Материаловедение		
Процесс формирования повреждений железнодорожных колес и бандажей при эксплуатации <i>Н. А. Грищенко</i>	1	100
Влияние легирования на температуру превращения «перлит → аустенит» в комплексно-легированных белых чугунах <i>Т. В. Пастухова, В. Г. Ефременко, А. П. Чейлях, К. Шимидзу, Ю. Г. Чабак</i>	1	113
Зависимость размера зерна аустенита в стали железнодорожного колеса от параметров горячей деформации <i>Л. И. Вакуленко</i>	2	157
Изменение механических свойств и коррозионное растрескивание под напряжением материала металлоконструкции стрелы буртоукладчика <i>Л. К. Полищук, Р. Д. Искович-Лотоцкий, О. А. Коваль</i>	2	168
Повышение механических свойств литой графитизированной стали <i>И. В. Акимов</i>	3	129
Зависимость скорости распространения звуковых колебаний от размера зерна феррита в низкоуглеродистой стали <i>И. А. Вакуленко, Ю. Л. Надеждин, В. А. Сокирко, Сю Ся Хай</i>	3	137
Сравнительный анализ комплекса механических свойств, полученных при испытаниях готовых болтов и обточенных образцов <i>Ю. П. Гуль, А. В. Ивченко, П. В. Кондратенко, Г. И. Перчун</i>	4	132
Влияние импульса напряжения от электрического разряда в воде на выносливость при усталости углеродистой стали <i>И. А. Вакуленко, А. Г. Лисняк, О. Н. Перков, Сю Ся Хай</i>	5	107
Моделирование задач транспорта и экономики		
Об оптимизации объема инвестиций для улучшения основных показателей эффективности работы предприятия <i>З. М. Гасанов</i>	1	122
Моделирование работы сортировочной станции с помощью графических представлений <i>А. В. Горбова</i>	1	129
Исследование инжиниринга трафика в компьютерной сети Укрзалізничної технології MPLS TE <i>В. Н. Пахомова</i>	1	139
Исследование прочности контейнера-цистерны усовершенствованной конструкции при компьютерном моделировании эксплуатационных условий <i>А. А. Ловская, О. В. Фомин, А. М. Окороков, О. М. Мельничук</i>	2	180
Множественные объекты <i>А. А. Босов, В. М. Ильман, Н. В. Халипова</i>	3	145
Проектирование и оценка эффективности международных логистических систем <i>Н. В. Халипова</i>	4	142
Нетрадиционные виды транспорта		
Исследование влияния проектных характеристик элеватора на параметры его привода <i>В. Н. Богомаз, К. Ц. Главацкий, О. А. Мазур</i>	2	189
Анализ влияния проектных характеристик элеватора на параметры его привода <i>В. Н. Богомаз</i>	3	162
Имитационные модели сопротивления движению бетонной смеси в бетоноводе автобетононасоса <i>П. Г. Анофриев</i>	5	115
Способ определения мощности привода механизма передвижения мостового крана при учете трения качения <i>В. Н. Богомаз, Л. Н. Бондаренко, К. Ц. Главацкий, К. А. Сокол</i>	5	123
Снижение динамической нагруженности работы механизмов в переходных режимах <i>В. С. Ловейкин, Ю. А. Ромасевич</i>	6	101

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Подвижной состав железных дорог и тяга поездов		
Влияние наработки локомотивов на корректирование периодичности технического обслуживания и текущего ремонта <i>А. С. Крашенинин</i>	1	148
Анализ эксплуатационных характеристик тепловозов <i>Л. В. Урсуляк, В. О. Сиротенко</i>	1	155
Об оценке уровня продольных сил, влияющих на угон пути, при переходных режимах движения поезда <i>В. Л. Горобец, Л. Г. Маслеева, Л. В. Урсуляк, В. В. Арсонов</i>	2	207
Улучшение технико-энергетических параметров тепловоза за счет внедрения автоматизированных систем управления дизелем <i>М. И. Капица, М. И. Мартышевский, Д. Н. Кислый, И. И. Палий</i>	3	176
Оценка динамических показателей шестиосного локомотива <i>С. В. Мямлин, Н. Е. Науменко, О. М. Маркова, Е. Н. Ковтун, В. В. Малый</i>	3	186
Теоретические основы гасителей колебаний трением качения <i>Л. Н. Бондаренко, С. А. Яковлев, И. Е. Крамар, А. И. Шантала</i>	4	153
Моделирование взаимодействия экипажей пассажирского поезда, оборудованного системой пассивной безопасности, при аварийном столкновении с препятствием <i>Н. Е. Науменко, И. Ю. Хижа</i>	4	163
Некоторые аспекты определения устойчивости порожних вагонов от выжимания их продольными силами в грузовых поездах <i>А. А. Швец, К. И. Железнов, А. С. Акулов, А. Н. Заболотный, Е. В. Чабанюк</i>	4	175
Обоснование продления срока службы пассажирских вагонов с очагами коррозии хребтовой балки <i>С. В. Мямлин, А. Г. Рейдемейстер, А. Л. Пулария, В. А. Калашник</i>	5	132
Способы увеличения прочности боковых рам трехэлементных тележек <i>А. Г. Рейдемейстер, А. А. Шикун</i>	5	141
Проблема определения термина «надежность». Методология построения и изучения надежности грузовых вагонов <i>С. В. Мямлин, Л. А. Мурадян, Д. Н. Барановский</i>	6	110
Разработка рекомендаций по продлению срока полезной эксплуатации пассажирских вагонов <i>С. В. Мямлин, А. Г. Рейдемейстер, А. Л. Пулария, В. А. Калашник</i>	6	118
Определение тормозного пути несамоходного подвижного состава методом последовательных торможений <i>А. Г. Рейдемейстер, В. Ю. Шапошник</i>	6	127
К вопросу определения коэффициента запаса устойчивости от выжимания легковесных вагонов <i>А. А. Швец, К. И. Железнов, А. С. Акулов, А. Н. Заболотный, Е. В. Чабанюк</i>	6	134
Транспортное строительство		
Обоснование стабилизации параметров укрепленной железнодорожной насыпи <i>В. Д. Петренко, О. Л. Тютькин, Е. Н. Кулаженко, А. М. М. Алхдур</i>	1	165
Анализ существующих проблем организационно-технологической надежности кровельных систем <i>А. В. Радкевич, В. Ф. Худенко, В. М. Глуценко</i>	2	222
Влияние толщины гофрированных элементов на напряженно-деформированное состояние металлических гофрированных конструкций <i>В. В. Ковальчук</i>	3	199
Использование геометрического моделирования при проектировании смесителей телескопической конструкции <i>К. К. Мирошниченко</i>	4	190
Моделирование насыпи земляного полотна на слабом основании <i>В. Д. Петренко, И. А. Святко</i>	4	198
Определение аспектов оценки надежности фасадных систем с точки зрения Eurocode <i>А. В. Радкевич, К. Н. Нетеса</i>	4	205
Усовершенствование расчета устойчивости здания, расположенного вблизи откоса на структурно-неустойчивых грунтах <i>М. С. Иванова, С. В. Коновал, С. Ф. Абед</i>	5	150

Название статьи	Номер журн.	Стр.
Конструкция рационального стального гофрированного профиля <i>В. В. Качуренко, Д. О. Банников</i>	5	160
Проведение и анализ результатов экспериментального лоткового испытания моделей подпорной стены без свай и на свайном фундаменте <i>М. А. Лисневский, В. А. Сухорский</i>	5	169
Исследование несущей способности металлической гофрированной конструкции по критерию образования пластического шарнира <i>И. И. Лучко, В. В. Ковальчук, О. С. Набоченко</i>	5	180
Система управления составом и свойствами гидротехнического бетона <i>А. Н. Пишнько, А. В. Краснюк, О. В. Громова</i>	5	195
Исследование причин преждевременного разрушения железобетонных шпал на Знаменской дистанции пути ПЧ 10 Одесской железной дороги <i>В. В. Коваленко, Ю. Л. Заяц, П. А. Пишнько</i>	6	149
Улучшение свойств бетона подрельсовых оснований с помощью химических добавок <i>В. В. Пристинская</i>	6	164
Физико-химическая модификация цементной системы монолитного бетона <i>Д. В. Руденко</i>	6	174
Развитие высшей школы		
Веб-квест – ценный ресурс и эффективный инструмент в изучении и преподавании английского языка <i>Е. М. Перерва</i>	3	208
Информатизация общества: философско-антропологические проблемы <i>А. А. Косолапов</i>	4	213
Издание научной периодики в университетах: новые задачи, участники, технологии <i>Т. А. Колесникова, И. А. Ключник</i>	6	183

**SUBJECT INDEX TO THE JOURNAL
«SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS.
BULLETIN OF DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY
OF RAILWAY TRANSPORT»
FOR 2015**

Article title	Journal number	Page
Science and Transport Progress		
Incompetence in science and technology – it is a brake of progress or about raiding in the field of research services <i>S. V. Myamlin</i>	1	7
Consumption volumes technology of electricity and heat by departments of the university <i>O. M. Pshinko, V. G. Kuznetsov, M. V. Shaptala, D. E. Shaptala</i>	1	15
Retrospective analysis of the scientific potential formation of Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan <i>S. V. Myamlin, I. V. Ahiienko</i>	2	7
Performance assesment of the research: bibliometrics <i>T. O. Kolesnykova, O. V. Matveyeva</i>	4	7
Perspectives of Ukrainian railway tourism development on narrow-gauge lines of Zakarpattia <i>V. G. Kuznetsov, P. O. Pshinko, I. V. Klimenko, A. V. Gumenyuk, S. M. Zahorulko</i>	4	23
Transport Automated Control Systems		
Remote diagnostics of turnouts state on timing and spectral composition in current curve <i>S. Yu. Buryak, V. I. Gavrilyuk, O. O. Hololobova, M. O. Kovryhin</i>	2	39
Control command systems impact on the railway operational safety <i>Marek Pawlik</i>	2	58
Implementation of turnouts technical diagnostics systems <i>S. Yu. Buriak, V. I. Havryliuk, O. O. Hololobova</i>	3	7
Impact mechanisms research in the contact network on rail track circuits <i>V. I. Shcheka</i>	3	27
Testing new types of rolling stock for electromagnetic compatibility with signaling and communication devices <i>V. I. Havrilyuk, V. I. Shcheka, V. V. Meleshko</i>	5	7
The use of the experiment planning method to evaluate the accuracy of flexible units identification <i>O. Y. Yehorov</i>	6	7
Transport Ecology		
Research of air pollution from traffic in «street canyons» of city <i>T. I. Rusakova</i>	1	23
Evaluation of ecological situation in case of accidents on township roads <i>T. I. Rusakova</i>	2	65
Numerical determination of horizontal settlers performance <i>M. M. Biliaiev, V. A. Kozachyna</i>	4	34
Economics and Management		
Model of fees calculation for access to track infrastructure facilities <i>M. I. Mishchenko</i>	1	35
Determination of the optimal capital investments to ensure the sustainable development of the railway <i>O. I. Kharchenko</i>	2	77
Methodical approach to defining infrastructure component of the costs for the particular passenger train traffic <i>Yu. S. Barash, Kh. V. Kravchenko, M. F. Zianchuk</i>	4	44
Development of railway tourism in Ukraine as means of available rest organization <i>L. V. Martseniuk, Yu. M. Proskurnia</i>	5	16
Operation and Repair of Transport Means		
Intellectual model formation of railway station work during the train operation execution <i>O. V. Lavrukhin</i>	1	43

Article title	Journal number	Page
Estimation model of residual life-time of locomotive frame bogie with allowance for creep <i>V. R. Skalskyi, I. Ya. Dolinska, D. V. Rudavskyy, R. Ya. Yarema, V. R. Bas</i>	1	54
Simulation of driver's locomotive-handling activity using the theory of fuzzy graphs <i>T. V. Butko, O. M. Horobchenko</i>	2	77
Study of operational parameters of track profile estimation on the bandwidth of the railways <i>V. L. Gorobets, S. I. Muzykina, M. I. Muzykin</i>	2	97
Time reserves during the organisation of freight train movement on schedule <i>D. M. Kozachenko, M. I. Berezovyi, V. O. Balanov, V. V. Zhuravel</i>	2	105
Determination of braking optimal mode of controlled cut of design group <i>A. S. Dorosh</i>	3	36
Calculated volumes determination of work for main-line and industrial railway stations <i>D. M. Kozachenko, A. I. Verlan, O. V. Horbova</i>	3	45
The influence of the main parameters of train traffic volume on total profits of railways <i>H. Ya. Mozolevich, A. V. Troian</i>	3	58
Ways to increase competitiveness of railway transport in modern conditions <i>P. V. Bech, G. I. Nesterenko, S. I. Muzykina, O. V. Lashkov, M. I. Muzykin</i>	5	25
Definition of energy saving acceleration modes of trains <i>B. Ye. Bodnar, M. I. Kapitsa, A. M. Afanasov, D. N. Kyslyi</i>	5	40
Information-measuring test system of diesel locomotive hydraulic transmissions <i>I. V. Zhukovyt'skyi, I. A. Kliushnyk, O. B. Ochkasov, R. O. Korenyuk</i>	5	53
Formalization of diesel engine operation considering the evaluation of velocity during the combustion processes <i>V. P. Litvinenko</i>	5	66
Energy efficiency of diesel locomotive hydraulic transmission tests at locomotive repair plant <i>B. E. Bodnar, M. I. Kapitsa, O. B. Ochkasov, R. O. Korenyuk</i>	6	16
Complex simulation model of train breaking-up process at the humps <i>E. B. Demchenko</i>	6	25
Electric Transport		
Study of the manual power equipment of traction electrification system of the railways <i>O. O. Matushevych, D. V. Mironov</i>	1	62
Lifetime of auxiliary machines of AC electric trains <i>O. Yu. Baliichuk</i>	2	116
Mathematical model of semiconductor converter with five-zone regulation of the output voltage and electromechanical load <i>V. V. Mikhailenko, S. A. Abdulaiev, V. V. Ernst, V. V. Chupak</i>	2	129
Mathematical model of the damage analysis of railway traction energy system <i>O. O. Matushevych</i>	3	77
Confirmation of the mathematical model adequacy of a linear synchronous motor <i>V. F. Novikov</i>	3	88
The content model and the equations of motion of electric vehicle <i>K. O. Soroka, D. A. Lychev</i>	3	97
Increase the resource of current collector elements of the electrified high-speed transport in operating conditions <i>Y. L. Bolshakov, A. V. Antonov</i>	4	57
Investigation of properties of current collector elements and their effect on the performance of tribosystem «contact wire - current collector element» <i>Yu. L. Bolshakov, A. V. Antonov</i>	6	35
Railway Track		
To the modeling issues of life cycle of deformation work of the railway track elements <i>I. O. Bondarenko</i>	1	78
To the solution of problems about the railways calculation for strength taking into account unequal elasticity of the subrail base <i>D. M. Kurhan</i>	1	90
Features of perception of loading elements of the railway track at high speeds of the movement <i>D. M. Kurhan</i>	2	136

Article title	Journal number	Page
Investigation of stress state in the elements of rail fastenings, type КПП-5 under the influence of rolling stock <i>N. P. Nastechik, I. A. Bondarenko, R. V. Marcul</i>	2	146
Formation of estimated conditions for life cycle of deformation work of the railway track <i>I. O. Bondarenko</i>	3	107
Determination of dynamic loads from the wheel on the rail for high-speed trains <i>D. M. Kurhan</i>	3	118
Determination of contact stresses in the rails P50, which are operated in the metro <i>O. V. Agarkov, R. M. Yosufovuch</i>	4	71
Features of the research work elements deformability of railway track <i>I. O. Bondarenko</i>	4	87
Accumulated deformation modeling of permanent way based on entropy system <i>D. M. Kurhan</i>	4	99
Elastic deformations impact in elements of the rail fastening, type КПП-5 on a size of pressing force of the rail to the subrail basis <i>N. P. Nastechik, R. V. Marcul, V. V. Savytskyi</i>	4	110
The measurement methodology improvement of the horizontal irregularities in plan <i>O. M. Patlasov, S. O. Tokariev</i>	4	121
Process features of fluctuations propagation at stress-strain work of the railway track <i>I. O. Bondarenko</i>	5	75
Inequalities research of the track at the railroad crossings <i>M. B. Kurhan, D. M. Kurhan, O. F. Luzhytskyi</i>	5	84
Investigation of inner shear resistance of geogrids built under granular protection layers and railway ballast <i>Sz. Fischer</i>	5	97
Features of the deformation work of the railway track <i>I. O. Bondarenko</i>	6	45
Experimental investigations of horizontal lateral stiffness of rails under different designs of rail fasteners <i>V. P. Velinets</i>	6	57
Recent researches of the lateral flexibility of rail thread under combined action of vertical and horizontal forces <i>E. I. Danilenko</i>	6	65
Residual resource study of defective rails for type P 50 cycle test of endurance <i>R. M. Yosyfovych</i>	6	78
The coupling element calculation of combined wooden bar for turnouts <i>O. M. Patlasov, S. O. Tokariev</i>	6	88
Material Science		
The process of formation of railway wheel damages and tires in operation <i>N. A. Grischenko</i>	1	100
Effect of alloying on temperature of transformation «pearlite→austenite» in complex-alloyed white cast irons <i>T. V. Pastukhova, V. G. Efremenko, A. P. Cheiliakh, K. Shimizu, Yu. G. Chabak</i>	1	113
Dependence of grain size of austenite steel of railway wheel from parameters of hot deformation <i>L. I. Vakulenko</i>	2	157
Change in the mechanical properties and stress corrosion cracking under material of metalware tension of a clamp-forming machine arrow <i>L. K. Polishchuk, R. D. Iskovych-Lototskyi, O. A. Koval</i>	2	168
Increasing of mechanical properties of cast graphitized steel <i>I. V. Akimov</i>	3	129
Speed dependence of acoustic vibration propagation from the ferritic grain size in low-carbon steel <i>I. A. Vakulenko, Yu. L. Nadezhdin, V. A. Sokyryko, Siu Sia Khai</i>	3	137
Comparative analysis of complex mechanical properties obtained in tests on finished bolts and turned samples <i>Y. P. Gul, A. V. Ivchenko, P. V. Kondratenko, G. I. Perchun</i>	4	132

Article title	Journal number	Page
Influence of shock voltage from the electric discharge on the fatigue endurance of carbon steel in water <i>I. A. Vakulenko, A. G. Lisnyak, O. N. Perkov, Xu Xiao Hai</i>	5	107
Transport and Economic Tasks Modeling		
About optimizing of investments volume to improve the basic indicators of the enterprise effectiveness <i>Z. M. Gasanov</i>	1	122
Modeling work of sorting station using UML <i>O. V. Gorbova</i>	1	129
Research of engineering traffic in computer of Ukrzaliznytsia network using MPLS TE technology <i>V. N. Pakhomova</i>	1	139
Research of a tank-container strength of improved construction using the computer simulation of operating conditions <i>A. O. Lovska, O. V. Fomin, A. M. Okorokov, O. M. Melnychuk</i>	2	180
Multiple objects <i>A. A. Bosov, V. M. Ilman, N. V. Khalipova</i>	3	145
International logistics systems design and effectiveness evaluation <i>N. V. Khalipova</i>	4	142
Non-Traditional Transport Modes		
Research of Influencing of Project Discriptions of Elevator on Parameters of its Drive <i>V. M. Bohomaz, K. TS. Hlavatskyi, O. A. Mazur</i>	2	189
Influence analyses of designed characteristics of the elevator to the parameters of its drive <i>V. M. Bohomaz</i>	3	162
Simulation models of resistance to concrete movement in the concrete conveying pipe of the autoconcrete pump <i>P. G. Anofriev</i>	5	115
Method of the drive power determination of the mechanisms of the bridge crane movement considering the rolling friction <i>V. M. Bohomaz, L. M. Bondarenko, K. Ts. Hlavatskyi, K. O. Sokol</i>	5	123
Decreasing of mechanisms dynamic loading at the transient state <i>V. S. Loveikin, Yu. O. Romasevich</i>	6	101
Rolling Stock and Train Traction		
The effect of locomotive hours on adjusting periodicity of maintenance service and current repair <i>O. S. Krashenin</i>	1	148
Analysis of the operational characteristics of diesel-electric locomotives <i>L. V. Ursulyak, V. A. Sirotenko</i>	1	155
About the evaluation of the longitudinal forces level effecting the track displacement at transient modes of train movement <i>V. L. Horobets, L. H. Masleieva, L. V. Ursuliak, V. V. Arsonov</i>	2	207
Technical and energy parameters improvement of diesel locomotives through the introduction of automated control systems of a diesel <i>M. I. Kapitsa, M. I. Martyshevskyi, D. N. Kyslyi, I. I. Palii</i>	3	176
Evaluation of dynamic indicators of six-axle locomotive <i>S. V. Myamlin, N. Yu. Naumenko, O. M. Markova, H. M. Kovtun, V. V. Maliy</i>	3	186
The theoretical foundations of vibration dampers by rolling friction <i>L. M. Bondarenko, S. A. Yakovlev, I. E. Kramar, A. I. Shaptala</i>	4	153
Modeling of interaction of the passenger train vehicles, equipped by passive safety, at accidental collision with obstacle <i>N. Ye. Naumenko, I. Yu. Khyzha</i>	4	163
Some aspects of the definition of empty cars stability from squeezing their longitudinal forces in the freight train <i>A. O. Shvets, K. I. Zheliezov, A. S. Akulov, O. M. Zabolotnyi, E. V. Chabaniuk</i>	4	175
The rationale for extending the services of passenger cars with pockets of corrosion in the center sill <i>S. V. Myamlin, O. H. Reidemeister, A. L. Pulariia, V. O. Kalashnyk</i>	5	132

Article title	Journal number	Page
Strength increase methods of the side frame of the bogie in three-piece trucks <i>O. H. Reidemeister, O. A. Shykunov</i>	5	141
Problem of the definition the «reliability» term. Methodology of construction and study the reliability of freight cars <i>S. V. Myamlin, L. A. Muradian, D. M. Baranovsky</i>	6	110
Development of recommendations for extending the useful life of passenger cars <i>S. V. Myamlin, O. H. Reidemeister, A. L. Pulariia, V. O. Kalashnyk</i>	6	118
Determination of stopping distance of unpowered rolling stock by method of sequential braking <i>O. H. Reidemeister, V. Yu. Shaposhnyk</i>	6	127
Determination of the issue concerning the lift resistance factor of lightweight car <i>A. O. Shvets, K. I. Zheliezov, A. S. Akulov, O. M. Zabolotnyi, Ye. V. Chabaniuk</i>	6	134
Transport Construction		
The basing of stabilization parameters of a fortified railway bed <i>V. D. Petrenko, O. L. Tiutkin, O. M. Kulazhenko, A. M. M. Alkhdour</i>	1	165
Existing problems analyzis of organizational and technological reliability of roofing systems <i>A. V. Radkevych, V. F. Khudenko, V. M. Glushenko</i>	2	222
The effect of corrugated elements thickness on the deflected mode of corrugated metal structures <i>V. V. Kovalchuk</i>	3	199
Using the geometric simulation at planning of mixers of telescopic construction <i>K. K. Miroshnychenko</i>	4	190
Simulation of subgrade embankment on weak base <i>V. D. Petrenko, I. O. Sviatko</i>	4	198
Aspects definition of reliability evaluation facade systems from the view point of Eurocode <i>A. V. Radkevych, K. M. Netesa</i>	4	205
Improvement the calculation of the stability of building located near the slopes for structural unstable soils <i>M. S. Ivanova, S. V. Konoval, S. F. Abed</i>	5	150
Rational steel corrugated profile design <i>V. V. Kachurenko, D. O. Bannikov</i>	5	160
Conducting and analyzing the results of the experimental box test of retaining wall models without piles and on the pile foundation <i>M. A. Lisnevskiy, V. O. Sukhorskyi</i>	5	169
Study of carrying capacity of a corrugated metal construction by criterion of yield hinge development <i>Y. Y. Luchko, V. V. Kovalchuk, O. S. Nabochenko</i>	5	180
Hydraulic concrete composition and properties control system <i>O. M. Pshinko, A. V. Krasnyuk, O. V. Hromova</i>	5	195
The causes study of the premature destruction of the concrete sleepers on the Znamenka track of the IF10 of the Odessa railway <i>V. V. Kovalenko, Y. L. Zayats, P. O. Pshinko</i>	6	149
Concrete properties improvement of slab tracks using chemical additives <i>V. V. Pristinskaya</i>	6	164
Physico-chemical modification of monolithic concrete cement system <i>D. V. Rudenko</i>	6	174
High School Development		
Web-quests in the english language studying and teaching as a valuable resource and effective tool <i>K. M. Pererva</i>	3	208
Informatization: philosophical and anthropological problems <i>A. A. Kosolapov</i>	4	213
Publication of scientific periodicals at universities: new challenges, participants technology <i>T. O. Kolesnykova, I. A. Kliushnyk</i>	6	183

ЗМІСТ

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

О. Й. ЄГОРОВ

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ
ДЛЯ ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХОМИХ ОДИНИЦЬ7

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Б. Є. БОДНАР, М. І. КАПЦА, О. Б. ОЧКАСОВ, Р. О. КОРЕНЮК

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИПРОБУВАНЬ ГІДРАВЛІЧНИХ ПЕРЕДАЧ
ТЕПЛОВОЗІВ В УМОВАХ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ЗАВОДУ16

Є. Б. ДЕМЧЕНКО

КОМПЛЕКСНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗФОРМУВАННЯ
СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ25

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ, А. В. АНТОНОВ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТРУМОЗНИМАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ЇХ ВПЛИВУ
НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ТРИБОСИСТЕМИ «КОНТАКТНИЙ ПРОВІД – ВУГІЛЬНА ВСТАВКА».....35

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

І. О. БОНДАРЕНКО

ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМАТИВНОЇ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ.....45

В. П. ВЕЛІНЕЦЬ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ПОПЕРЕЧНОЇ ЖОРСТКОСТІ
РЕЙКОВИХ НИТОК ПРИ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЯХ РЕЙКОВИХ СКРІПЛЕНЬ57

Е. І. ДАНІЛЕНКО

НОВІТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БІЧНОЇ ПРУЖНОСТІ РЕЙКОВИХ НИТОК
ПРИ СПІЛЬНІЙ ДІЇ ВЕРТИКАЛЬНИХ І ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СИЛ65

Р. М. ЙОСИФОВИЧ

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ДЕФЕКТНИХ РЕЙОК ТИПУ Р50
ІЗ ВИПРОБУВАННЯМИ НА ЦИКЛІЧНУ ВИТРИВАЛІСТЬ.....78

О. М. ПАТЛАСОВ, С. О. ТОКАРСЬ

РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ З'ЄДНАННЯ ЗБІРНОГО ДЕРЕВ'ЯНОГО БРУСА
ДЛЯ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ88

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

В. С. ЛОВЕЙКІН, Ю. О. РОМАСЕВИЧ

ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ
РОБОТИ МЕХАНІЗМІВ У ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ.....101

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

С. В. МЯМЛІН, Л. А. МУРАДЯН, Д. М. БАРАНОВСЬКИЙ

ПРОБЛЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНУ «НАДІЙНІСТЬ».
МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ТА ВИВЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ.....110

С. В. МЯМЛІН, О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, А. Л. ПУЛАРІЯ, В. О. КАЛАШНИК

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ІЗ ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ
КОРИСНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ118

О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, В. Ю. ШАПОШНИК

ВИЗНАЧЕННЯ ГАЛЬМОВОГО ШЛЯХУ НЕСАМОХІДНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ
МЕТОДОМ ПОСЛІДОВНИХ ГАЛЬМУВАНЬ127

А. О. ШВЕЦЬ, К. І. ЖЕЛЄЗНОВ, А. С. АКУЛОВ, О. М. ЗАБОЛОТНИЙ, Є. В. ЧАБАНИЮК

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ СТІЙКОСТІ
ВІД ВИЧАВЛЮВАННЯ ЛЕГКОВАГОВИХ ВАГОНІВ.....134

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

В. В. КОВАЛЕНКО, Ю. Л. ЗАЯЦЬ, П. О. ПІШНЬКО

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ПЕРЕДЧАСНОГО РУЙНУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ
НА ЗНАМ'ЯНСЬКІЙ ДИСТАНЦІЇ КОЛІЇ ПЧ 10 ОДЕСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ 149

В. В. ПРИСТИНСЬКА

ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ ПІДРЕЙКОВИХ ОСНОВ
ЗА ДОПОМОГОЮ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК 164

Д. В. РУДЕНКО

ФІЗИКО-ХІМІЧНА МОДИФІКАЦІЯ ЦЕМЕНТНОЇ СИСТЕМИ МОНОЛІТНОГО БЕТОНУ 174

РОЗВИТОК ВИЩОЇ ШКОЛИ

Т. О. КОЛЕСНИКОВА, І. А. КЛЮШНИК

ВИДАННЯ НАУКОВОЇ ПЕРІОДИКИ В УНІВЕРСИТЕТІ:
НОВІ ЗАВДАННЯ, УЧАСНИКИ, ТЕХНОЛОГІЇ 183

ТЕМАТИЧНИЙ ПОКАЖЧИК ЖУРНАЛУ «НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ.

**ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ» ЗА 2015 РІК 198**

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

О. И. ЕГОРОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА
ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ЕДИНИЦ.....7

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

Б. Е. БОДНАРЬ, М. И. КАПИЦА, А. Б. ОЧКАСОВ, Р. А. КОРЕНЮК

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПЫТАНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ
ТЕПЛОВЗОВ В УСЛОВИЯХ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ЗАВОДА16

Е. Б. ДЕМЧЕНКО

КОМПЛЕКСНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАСФОРМИРОВАНИЯ
СОСТАВОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ.....25

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ, А. В. АНТОНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОКОСЪЕМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИХ ВЛИЯНИЯ
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ТРИБОСИСТЕМЫ «КОНТАКТНЫЙ ПРОВОД – УГОЛЬНАЯ ВСТАВКА»35

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

И. А. БОНДАРЕНКО

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАТИВНОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ45

В. П. ВЕЛИНЕЦ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ЖЕСТКОСТИ
РЕЛЬСОВЫХ НИТЕЙ ПРИ РАЗНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ.....57

Э. И. ДАНИЛЕНКО

НОВЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БОКОВОЙ УПРУГОСТИ РЕЛЬСОВЫХ НИТЕЙ
ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ.....65

Р. Н. ЙОСИФОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕФЕКТНЫХ РЕЛЬСОВ ТИПА Р 50
ПО ИСПЫТАНИЮ НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ВЫНОСЛИВОСТЬ.....78

А. М. ПАТЛАСОВ, С. А. ТОКАРЕВ

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ СОЕДИНЕНИЯ СБОРНОГО ДЕРЕВЯННОГО БРУСА
ДЛЯ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ88

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВИДЫ ТРАНСПОРТА. МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

В. С. ЛОВЕЙКИН, Ю. А. РОМАСЕВИЧ

СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ
РАБОТЫ МЕХАНИЗМОВ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ101

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

С. В. МЯМЛИН, Л. А. МУРАДЯН, Д. Н. БАРАНОВСКИЙ

ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМИНА «НАДЕЖНОСТЬ».
МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ110

С. В. МЯМЛИН, А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, А. Л. ПУЛАРИЯ, В. А. КАЛАШНИК

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКА
ПОЛЕЗНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ118

А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, В. Ю. ШАПОШНИК

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРМОЗНОГО ПУТИ НЕСАМОХОДНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА
МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ТОРМОЖЕНИЙ.....127

А. А. ШВЕЦ, К. И. ЖЕЛЕЗНОВ, А. С. АКУЛОВ, А. Н. ЗАБОЛОТНЫЙ, Е. В. ЧАБАНЮК

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ
ОТ ВЫЖИМАНИЯ ЛЕГКОВЕСНЫХ ВАГОНОВ.....134

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

В. В. КОВАЛЕНКО, Ю. Л. ЗАЯЦ, П. А. ПШИНЬКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ НА ЗНАМЕНСКОЙ ДИСТАНЦИИ

ПУТИ ПЧ 10 ОДЕССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ.....149

В. В. ПРИСТИНСКАЯ

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА ПОДРЕЛЬСОВЫХ ОСНОВАНИЙ

С ПОМОЩЬЮ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК.....164

Д. В. РУДЕНКО

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ЦЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА174

РАЗВИТИЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Т. А. КОЛЕСНИКОВА, И. А. КЛЮШНИК

ИЗДАНИЕ НАУЧНОЙ ПЕРИОДИКИ В УНИВЕРСИТЕТАХ:

НОВЫЕ ЗАДАЧИ, УЧАСТНИКИ, ТЕХНОЛОГИИ183

ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЖУРНАЛА «НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА.

ВЕСТНИК ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА» ЗА 2015 ГОД204

CONTENTS

TRANSPORT AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

O. Y. YEHOVOROV

THE USE OF THE EXPERIMENT PLANNING METHOD TO EVALUATE THE ACCURACY
OF FLEXIBLE UNITS IDENTIFICATION.....7

OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS

B. YE. BODNAR, M. I. KAPITSA, O. B. OCHKASOV, R. O. KORENYUK

ENERGY EFFICIENCY OF DIESEL LOCOMOTIVE HYDRAULIC
TRANSMISSION TESTS AT LOCOMOTIVE REPAIR PLANT.....16

E. B. DEMCHENKO

COMPLEX SIMULATION MODEL OF TRAIN BREAKING-UP PROCESS AT THE HUMPS.....25

ELECTRIC TRANSPORT

YU. L. BOLSHAKOV, A. V. ANTONOV

INVESTIGATION OF PROPERTIES OF CURRENT COLLECTOR ELEMENTS
AND THEIR EFFECT ON THE PERFORMANCE OF TRIBOSYSTEM
«CONTACT WIRE – CURRENT COLLECTOR ELEMENT»35

RAILWAY TRACK

I. O. BONDARENKO

FEATURES OF THE DEFORMATION WORK OF THE RAILWAY TRACK45

V. P. VELINETS

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF HORIZONTAL LATERAL STIFFNESS
OF RAILS UNDER DIFFERENT DESIGNS OF RAIL FASTENERS57

E. I. DANILENKO

RECENT RESEARCHES OF THE LATERAL FLEXIBILITY OF RAIL THREAD
UNDER COMBINED ACTION OF VERTICAL AND HORIZONTAL FORCES.....65

R. M. YOSYFOVYCH

RESIDUAL RESOURCE STUDY OF DEFECTIVE RAILS
FOR TYPE P 50 CYCLE TEST OF ENDURANCE78

O. M. PATLASOV, S. O. TOKARIEV

THE COUPLING ELEMENT CALCULATION OF COMBINED WOODEN BAR FOR TURNOUTS88

NON-TRADITIONAL TRANSPORT MODES. MACHINES AND MECHANISMS

V. S. LOVEIKIN, YU. O. ROMASEVICH

DECREASING OF MECHANISMS DYNAMIC LOADING AT THE TRANSIENT STATE101

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

S. V. MYAMLIN, L. A. MURADIAN, D. M. BARANOVSKY

PROBLEM OF THE DEFINITION THE «RELIABILITY» TERM.
METHODOLOGY OF CONSTRUCTION AND STUDY THE RELIABILITY OF FREIGHT CARS110

S. V. MYAMLIN, A. G. REIDEMEISTER, A. L. PULARIIA, V. O. KALASHNYK

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR EXTENDING
THE USEFUL LIFE OF PASSENGER CARS118

G. REIDEMEISTER, V. YU. SHAPOSHNYK

DETERMINATION OF STOPPING DISTANCE OF UNPOWERED ROLLING STOCK
BY METHOD OF SEQUENTIAL BRAKING.....127

A. O. SHVETS, K. I. ZHELIEZNOV, A. S. AKULOV, O. M. ZABOLOTNYI, YE. V. CHABANIUK

DETERMINATION OF THE ISSUE CONCERNING
THE LIFT RESISTANCE FACTOR OF LIGHTWEIGHT CAR.....134

TRANSPORT CONSTRUCTION

V. V. KOVALENKO, Y. L. ZAYATS, P. O. PSHINKO

THE CAUSES STUDY OF THE PREMATURE DESTRUCTION OF THE CONCRETE SLEEPERS
ON THE ZNAMENKA TRACK OF THE IF10 OF THE ODESSA RAILWAY.....149

V. V. PRYSTYNSKA

CONCRETE PROPERTIES IMPROVEMENT OF SLAB TRACKS USING CHEMICAL ADDITIVES164

D. V. RUDENKO

PHYSICO-CHEMICAL MODIFICATION OF MONOLITHIC CONCRETE CEMENT SYSTEM174

HIGH SCHOOL DEVELOPMENT

T. O. KOLESNYKOVA, I. A. KLIUSHNYK

PUBLICATION OF SCIENTIFIC PERIODICALS AT UNIVERSITIES:
NEW CHALLENGES, PARTICIPANTS TECHNOLOGY183

SUBJECT INDEX TO THE JOURNAL «SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS.

**BULLETIN OF DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY OF RAILWAY
TRANSPORT» FOR 2015210**

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

До публікації в журналі приймаються статті українською, російською або англійською мовами проблемного, узагальнюючого, методичного характеру, оригінальні наукові, практичні дослідження, які раніше ніде не видавалися.

Матеріали необхідно надавати в друкованому та електронному вигляді у програмі Microsoft Word 2003 або більш ранній версії – файли *.doc (файли *.docx, *.dost не приймаються). Для набору формул використовується MathType 5.

Наукова стаття повинна відповідати вимогам п. 3 Постанови ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003 року.

Матеріали рецензуються членами редакційної колегії журналу та сторонніми незалежними експертами, виходячи з принципу об'єктивності та з позицій вищих міжнародних академічних стандартів якості, та редагуються. Редакція залишає за собою право на стилістичну правку рукопису.

Вимоги щодо обсягу наукових статей, повідомлень, відгуків та рецензій:

- оглядові та проблемні статті – до 45 000 знаків з пробілами (7–10 с.);
- загальні статті за рубриками видання – до 30 000 знаків з пробілами (5–7 с.);
- наукове повідомлення – до 8 000 знаків з пробілами (до 2,5 с.);
- відгук або рецензія – до 6 000 знаків з пробілами (до 2 с.).

Матеріал надається у форматі А4, враховуючи таблиці, ілюстрації, список використаних джерел. Статті, більші за обсягом, можуть бути прийняті до розгляду на підставі рішення редколегії.

Увага! Згідно з міжнародними стандартами якості наукових публікацій необхідним є наявність авторських розширених і структурованих резюме (рефератів – abstracts), у т.ч. англійською мовою, рецензій, пристатейних списків літератури в романському алфавіті тощо.

Рекомендуємо скористатися правилами до оформлення статей журналу:
<http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/Vumogu.pdf>.

Для здачі статті до друку автору/авторам необхідно:

1. Для електронної інформації сформувати всі матеріали в п'яти файлах:

- **Перший** – із текстом статті та анотацій з ключовими словами. Назва файлу – прізвище та ініціали автора (першого співавтора) латинськими літерами, наприклад: Ivanov_II_statia.doc.
- **Другий** – з розширеними відомостями про автора/авторів (прізвище, ім'я, по батькові; посада; науковий ступінь; учене звання; місце роботи або навчання; адреса електронної пошти; номери контактних телефонів). Назва файлу – Ivanov_II_vidomosti.doc.
- **Третій** – рецензія (відсканована). Назва файлу – Ivanov_II_recenziia.jpg.
- **Четвертий** – Експертний висновок (відсканований, складається у вільній формі). Назва файлу – Ivanov_II_vysnovok.jpg.
- **П'ятий** – Ліцензійний договір (відсканований). Назва файлу – Ivanov_II_dogovir.jpg. Текст договору: <http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/license.doc>.

2. Для друкованої інформації. До редакції надаються особисто або надсилаються поштою такі матеріали: 1) два друкованих примірники рукопису з підписами всіх співавторів на останньому аркуші роботи; 2) оригінал Ліцензійного договору з підписами всіх співавторів; 3) оригінал експертного висновку; 4) рекомендація до друку за підписом відповідального редактора розділу (для співробітників ДНУЗТ).

Відповідальність за зміст статті, правильність, точність і коректність цитування, посилань та перекладу покладається на авторів.

**Остаточне рішення щодо публікації ухвалює редакційна колегія журналу.
 Статті, відхилені редакційною колегією, повертаються авторам для доопрацювання.**

Шановні автори, запрошуємо до співробітництва!

З питань опублікування звертайтеся до редакції журналу за адресою:

Науково-технічна бібліотека (ауд. 166),
 Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
 вул. Лазаряна, 2,
 м. Дніпропетровськ,
 Україна,
 49010
 e-mail: visnik@diit.edu.ua
 Адреса сайту журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>

З питань придбання примірників журналу телефонуйте за номером (056) 776 90 59 Грідасова А. В.



Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна веде підготовку докторантів та аспірантів за рахунок коштів Державного бюджету України – за державним замовленням – за такими спеціальностями:

ДОКТОРАНТУРА

№	Спеціальність	Шифр
1	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
2	Управління проектами і програмами	05.13.22
3	Залізнична колія	05.22.06
4	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
5	Електротранспорт	05.22.09
6	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
7	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
8	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05

На підставі угод, що укладаються з докторантом і керівником вищого навчального закладу, до докторантури приймаються громадяни України, кандидати наук, що мають наукові досягнення в обраній галузі.

Строк навчання 3 роки.

Вступники до докторантури подають:

- заяву на ім'я ректора,
- копію першої сторінки паспорта,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку з бухгалтерії про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу із зазначенням одержаної кваліфікації спеціаліста,
- копію диплома кандидата наук,
- копію атестата доцента, с.н.с. за їх наявності,
- розгорнутий план докторської дисертації,
- список опублікованих наукових праць та винаходів,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3х4.

АСПІРАНТУРА

№	Спеціальність	Шифр
1	Фізика твердого тіла	01.04.07
2	Теоретичні основи інформатики та кібернетики	01.05.01
3	Математичне моделювання та обчислювальні методи	01.05.02
4	Неорганічна хімія	02.00.01
5	Управління проектами і програмами	05.13.22
6	Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика	05.14.06
7	Залізнична колія	05.22.06
8	Рухомий склад залізниць і тяга поїздів	05.22.07
9	Електротранспорт	05.22.09
10	Експлуатація та ремонт засобів транспорту	05.22.20
11	Основи і фундаменти	05.23.02
12	Будівельні конструкції, будівлі та споруди	05.23.01
13	Будівельні матеріали та вироби	05.23.05
14	Технологія та організація промислового та цивільного будівництва	05.23.08
15	Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)	08.00.04
16	Історія філософії	09.00.05
17	Екологічна безпека	21.06.01

На підставі угод, що укладаються з аспірантом і керівником вищого навчального закладу, до аспірантури приймаються громадяни України, які мають вищу освіту і кваліфікацію спеціаліста.

Строк навчання в аспірантурі з відривом від виробництва – 3 роки, без відриву від виробництва – 4 роки.

Особи, допущені до вступних іспитів у аспірантуру, складають три іспити за програмою вищого навчального закладу:

- спеціальну дисципліну,
- філософію,
- іноземну мову.

За консультаціями звертатися на відповідні кафедри університету.

Особи, що вступають до аспірантури, подають:

- заяву на ім'я ректора,
- письмовий висновок передбачуваного наукового керівника про можливість навчання в аспірантурі,
- рекомендацію вченої ради вищого навчального закладу до вступу в аспірантуру (для випускників поточного року),
- копію першої сторінки паспорта,
- особистий листок з обліку кадрів з фотокарткою, який засвідчено відділом кадрів за місцем основної роботи,
- витяг з трудової книжки,
- довідку про заробітну платню,
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу,
- посвідчення про складання кандидатських іспитів (за їх наявності),
- список опублікованих наукових праць та винаходів або реферат з обраної наукової спеціальності з рецензією передбачуваного наукового керівника,
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 286-у,
- ідентифікаційний код,
- одну фотокартку розміром 3×4.

Прийом документів до докторантури та аспірантури з 01.09 по 30.09 щорічно.

Вступні іспити до аспірантури з 10.10 по 30.10 щорічно.

Початок занять з 01.12 щорічно.

За інформацією звертатися:

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту,
вул. Лазаряна, 2,
м. Дніпропетровськ,
Україна,
49010.

Тел. : (056) 373-15-44 – ректор, проф. Пшінько Олександр Миколайович, приймальня;
(056) 373-15-29 – проректор з наукової роботи, проф. Мямлін Сергій Віталійович;
(056) 373-15-63 – завідувача аспірантурою та докторантурою Лахнова Ірина Анатоліївна,
(кімн. 320).

Інформація про спеціалізовані вчені ради університету

В університеті працює три спеціалізовані вчені ради із захисту докторських та кандидатських дисертацій за спеціальностями:

- Д 08.820.01 – залізнична колія (05.22.06) та електротранспорт (05.22.09); 05.22.12 – промисловий транспорт.
- Д08.820.02 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів (05.22.07) і експлуатація та ремонт засобів транспорту (05.22.20); транспортні системи (05.22.01);
- К08.820.03 – економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності).

ПОДІЇ

ШАНОВНІ КОЛЕГИ!

В журналі розпочато публікацію статей, рекомендованих до друку науковими комітетами міжнародних наукових конференцій, за такими напрямками:

- Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту.
- Проблеми механіки залізничного транспорту.
- Проблеми економіки транспорту.
- Екологічний інтелект.
- Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд.

Запрошуємо організаторів міжнародних наукових заходів до співпраці з метою оприлюднення найбільш вагомих наукових результатів.

* * *

Так, 9–11 вересня 2015 р. у місті Львові відбулася Міжнародна науково-практична конференція «Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд», присвячена доктору технічних наук Соколу Едуарду Миколайовичу і організована Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Укрзалізницею, Львівською філією ДІІТу та Львівським науково-дослідним інститутом судових експертиз.

У конференції взяло участь 125 науковців та спеціалістів з 26 організацій, у тому числі: 18 докторів наук, представники Міністерства інфраструктури, Міністерства юстиції, Укрзалізниці, вищих навчальних закладів, наукових та науково-дослідних установ і підприємств України, Німеччини, Литви, Вірменії та Польщі.

На пленарних та секційних засіданнях заслухано 70 доповідей з питань підвищення безпеки руху, методики та методології експертних досліджень рухомого складу залізниць, авто-транспортних засобів, інженерних споруд, під-

вищення їх експлуатаційної надійності та безпечності, оцінки економічної ефективності запропонованих заходів.

На конференції відмічено, що пріоритетним напрямом розвитку транспортної галузі є забезпечення безпеки. У даному аспекті важливим є профілактична роль експертних досліджень випадків транспортних пригод. Ретельний науковий аналіз причин, що призводять до транспортних пригод, дозволяє розробити рекомендації з недопущення їх у майбутньому, вносити зміни у нормативні документи, удосконалювати конструкцію транспортних засобів та інженерних споруд.

* * *

25–27 травня 2016 р. у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна відбудеться XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми механіки залізничного транспорту. Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження». Конференція проводиться кожні 4 роки за участю представників вищих навчальних закладів і науково-дослідних інститутів, залізниць, локомотивної вагонобудівних заводів багатьох країн світу. Це підтверджує зацікавленість виробничників у нових технологіях і наукових розробках, пов'язаних з роботою залізничного транспорту. Обмін знаннями і досвідом вчених та інженерів, які представляють наукові школи різних країн, особливо важливі в умовах інтероперабельності, глобалізації економіки і поглиблення інтеграційних процесів.

На конференції будуть працювати секції:

- безпека руху поїздів, перехідні режими, енергозбереження;
- взаємодія рухомого складу та колії, знос коліс і рейок;
- міцність, надійність.

* * *

Д л я н о т а т о к

Наукове видання

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

№ 6 (60) 2015

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – А. І. Миргородська
Комп'ютерне верстання – Л. А. Кобулія
Літературна обробка – О. М. Врублевська

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 26,04. Тираж 300 пр. Зам. № 4.

**Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Адреса редакції, видавця:

вул. Лазаряна, 2, кім. 267, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Адреса дільниці оперативної поліграфії:

вул. Лазаряна, 2, кім. 1201, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна

Тел.: +38 (056) 47-19-66, факс: +38 (056) 47-19-83



Научное издание

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

**(НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА. ВЕСТНИК ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА)**

№ 6 (60) 2015

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – А. И. Миргородская
Компьютерная верстка – Л. А. Кобулия
Литературная обработка – О. М. Врублевская

Формат 60×84¹/₈. Ус. печат. лист. 26,04. Тираж 300 экз. Зак. № 4.

**Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна**

Адрес редакции, издателя:

ул. Лазаряна, 2, ком. 267, г. Днепропетровск, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Адрес участка оперативной полиграфии:

ул. Лазаряна, 2, ком. 1201, г. Днепропетровск, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 47-19-66, факс: +38 (056) 47-19-83



Scientific Edition

**NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU. VİSNIK DNİPROPETROVS'KOGO NACİONAL'NOGO
UNİVERSİTETU ZALİZNIČNOGO TRANSPORTU**

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

No. 6 (60) 2015

(in Ukrainian, Russian and English languages)

Responsible for issue – A. I. Myrhorodska
Computer makeup – L. A. Kobuliya
Redaction – O. M. Vrublevska

Format 60×84¹/₈. Conventional printed sheet 26,04. Circulation 300. Order no 4.

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

Address of editor and editorial office

Lazaryan St., 2, r. 267, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Address of small offset printing office

Lazaryan St., 2, r. 1201, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Тел.: +38 (056) 47-19-66, Fax: +38 (056) 47-19-83



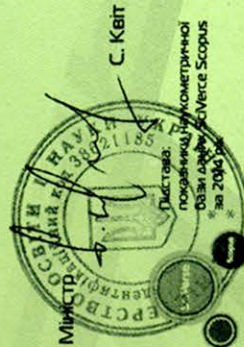
СУЧАСНІ ЗАКЛАДИ ОСВІТИ - 2015
Шоста Міжнародна виставка

CERTIFICATE

якості наукових публікацій
УДОСТОЄНИЙ

**Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна**

Міністерство освіти і науки України



С. Квіт

Національна академія
педагогічних наук України

Президент



В. Кремень

Асоціація користувачів
Української науково-освітньої
телекомунікаційної мережі «Уран»

Голова Ради



Ю. Якименко

