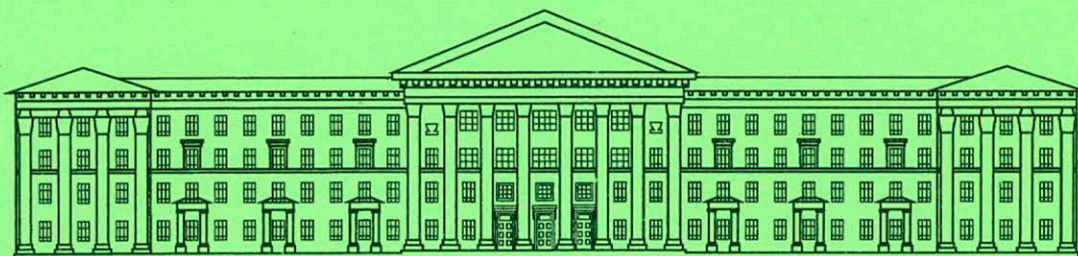




ISSN 2307-3489 (Print)
ISSN 2307-6666 (Online)



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

2(62)

.. 2016 ..

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

Маргарита Алигер, 1938 г.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Науковий журнал

№ 2 (62) 2016

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

Наука та прогрес транспорту
Автоматизовані системи управління на транспорті
Екологія на транспорті
Економіка та управління
Експлуатація та ремонт засобів транспорту
Електричний транспорт
Інформаційно-комунікаційні технології та математичне моделювання
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

2016

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

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

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

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ (УКРАЇНА):

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

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

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

Журнал зареєстровано Державною реєстраційною службою Міністерства юстиції України. Свідоцтво про реєстрацію КВ № 19609-9409ПР від 29.12.2012 р.
Видання внесено до Переліку наукових фахових видань України наказом Міністерства освіти і науки України 29.12.2014 р. № 1528 (технічні науки).
Журнал зареєстровано: в міжнародних каталогах періодичних видань Ulrichsweb™, Global Serials Directory, OCLC WorldCat; наукометричних системах Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.
Друкується за рішенням вченої ради університету від 25.04.2016 р., протокол № 9

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

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

Видання публікується з 1936 р.:

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

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

НАУКА И ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТА

ВЕСТНИК ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА

Научный журнал

№ 2 (62) 2016

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

Наука и прогресс транспорта
Автоматизированные системы управления на транспорте
Экология на транспорте
Экономика и управление
Эксплуатация и ремонт средств транспорта
Электрический транспорт
Информационно-коммуникационные технологии и математическое моделирование
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

2016

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

*ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО
СОВЕТА УНИВЕРСИТЕТА*

Пшинько А. Н., доктор технических наук

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА

Мямлин С. В., доктор технических наук

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Козаченко Д. Н., доктор технических наук

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Колесникова Т. А., кандидат наук
по социальным коммуникациям

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ (УКРАИНА):

Афанасов А. М., Банников Д. О., Бараш Ю. С., Беляев Н. Н., Бобырь Д. В., Бобровский В. И., Боднарь Б. Е., Босов А. А., Вакуленко И. А., Власова Т. И., Волкова В. Е., Габринец В. А., Гаврилюк В. И., Гетьман Г. К., Главацкий К. Ц., Гненный О. Н., Головова Л. С., Гончаров К. В., Горобец В. Л., Доценко Е. Н., Дудкина В. В., Жуковичский 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); Стржелецки 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 25.04.2016 г., протокол № 9

Издатель

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

Адрес
учредителя

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

Издание публикуется с 1936 г.:

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

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

NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU
VÌSNIK DNÌPROPETROVS'KOGO 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. 2 (62) 2016

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

Science and Transport Progress
Transport Automated Control Systems
Transport Ecology
Economics and Management
Operation and Repair of Transport Means
Electric Transport
Information and Communication Technologies and Mathematical Modeling
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

2016

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

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

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

EDITORIAL BOARD MEMBERS (UKRAINE):

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

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

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

Journal was registered by the State Registration Service of the Ministry of Justice of Ukraine.
 Certificate of Registration KB no.19609-9409PR from 29.12.2012
 Edition is included in the list of scientific professional publications of Ukraine by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine 29.12.2014 r. no. 1528 (technical sciences).
 Journal is registered: in the International Catalogue of periodicals Ulrichsweb™ Global Serials Directory, OCLC WorldCat; research and metric systems Google Scholar, Global Impact Factor, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.
 Published according to the Academic Council decision of the University from 25.04.2016, Protocol no. 9

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

Address of Founder 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»

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

UDC 502.36/.504.3.054:656.2

M. M. BILIAIEV^{1*}, L. YA. MUNTIAN^{2*}

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

^{2*}Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail lili.muntian@gmail.com, ORCID 0000-0002-1659-7740

NUMERICAL SIMULATION OF TOXIC CHEMICAL DISPERSION AFTER ACCIDENT AT RAILWAY

Purpose. This research focuses on the development of an applied numerical model to calculate the dynamics of atmospheric pollution in the emission of dangerous chemical substances in the event of transportation by railway.

Methodology. For the numerical simulation of transport process of the dangerous chemical substance in the atmosphere the equation of convection-diffusion pollutant transport is used. This equation takes into account the effect of wind, atmospheric diffusion, the power of emission source, as well as the movement of the source of emission (depressurized tank) on the process of pollutant dispersion. When carrying out computing experiment one also takes into account the profile of the speed of the wind flow. For the numerical integration of pollutant transport in the atmosphere implicit finite-difference splitting scheme is used. The numerical calculation is divided into four steps of splitting and at each step of splitting the unknown value of the concentration of hazardous substance is determined by the explicit running account scheme. On the basis of the numerical model it was created the code using the algorithmic language FORTRAN. One conducted the computational experiments to assess the level of air pollution near the railway station «Illarionovo» in the event of a possible accident during transportation of ammonia.

Findings. The proposed model allows you to quickly calculate the air pollution after the emission of chemically hazardous substance, taking into account the motion of the emission source. The model makes it possible to determine the size of the land surface pollution zones and the amount of pollutants deposited on a specific area. Using the developed numerical model it was estimated the environmental damage near the railway station «Illarionovo». **Originality.** One can use the numerical model to calculate the size and intensity of the chemical contamination zones after accidents on transport. **Practical value.** The numerical model, developed by authors, can be used to estimate the size and intensity of the chemical contamination zones during emergency on transport. The developed numerical model solves the problem of assessing the impact of emergency emission of ammonia near the railway station «Illarionovo».

Keywords: railway transport accidents; air pollution; chemically dangerous substance; numerical simulation

Introduction

Many accidents at railways result in toxic chemicals emissions [1]. These emissions pose potential risk to human health and environment. To predict the damage after these emissions Government Instructions are used. These Instructions are

based on simple empirical formulae which do not take account many physical factors, such as, wind profile, diffusion, etc. For example, to predict the width of polluted area the following expression is used in these Instructions

$$D = 0,3 \cdot L'',$$

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

where L is the length of polluted area (the L value is determined using the special Table), n is parameter which depends on the atmosphere condition (stable, neutral, etc.).

To obtain quick information about the atmosphere pollution Gauss model is used [5–7, 13, 16] or empirical model ОНД-86 [14].

In some cases CFD models are used [2–4, 9, 10, 12, 15] but these models are comprehensive for the regular users.

For a quick evaluation of toxic chemical concentrations in atmosphere fast hazard tools are very in need. It is very important for practice to have tools which take into account important details and, on the other hand, are not time consuming.

Purpose

The purpose of this work is the development of numerical model to predict the atmosphere pollution after accidents at railways.

Methodology

Mathematical model of pollutant dispersion. To simulate the toxic chemical dispersion in atmosphere 3-D transport equation is used [2, 8, 15]

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s)C}{\partial z} + kC + \sigma C = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \\ + \sum q_i(t) \delta(x - x_i(t)) \delta(y - y_i(t)) \delta(z - z_i), \quad (1) \end{aligned}$$

where C is air concentration of toxic chemical; u, v, w are the wind components in the x, y and z directions; w_s is gravitational settling velocity; σ is the chemical decay coefficient; k is the precipitation scavenging coefficient; $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ are the eddy diffusivities for the three coordinate directions; $q_i(t)$ is source terms; $\delta(x - x_i(t))\delta(y - y_i(t))\delta(z - z_i)$ are Dirac delta function; (x_i, y_i, z_i) are the coordinates of the point source.

This equation is numerically integrated using the following boundary conditions:

– at the entrance boundary:

$$C|_{\text{boundary}} = C_B,$$

where C_B is known concentration.

At the exit boundary (for example, this is the plane $x = L_x$, where L_x is distance from the entrance plane) the boundary condition is used in the following difference form

$$C(i+1, j, k) = C(i, j, k),$$

where $(i+1, j, k)$ is the last computational cell and (i, j, k) is the previous computational cell. At the ground ($z=0$ plane) the boundary condition is

$$\frac{\partial C}{\partial n} = \alpha C,$$

where n is normal to this plane, $\alpha > 0$ is coefficient which takes into account toxic chemical interaction with ground.

The initial condition (at time $t = 0$) can be written as $C = 0$ in the computational region or $C = C_0$, (where C_0 is the known concentration at the site where the instant emission took place and $C = 0$ in the other part of the computational region.

In the developed numerical model the following approximations for wind speed and diffusion coefficient are used:

$$u = u_1 \frac{\lg z/z_0}{\lg z_1/z_0}, \quad \mu_y = k_0 \cdot u, \quad \mu_z = k_1 \cdot \left(\frac{z}{z_1} \right)^m,$$

where u_1 is wind speed at height $z_1 = 10m$; $m \approx 1$; k_1, k_0 are parameters [Berlyand et al].

Numerical model. To solve transport equation (1) the implicit change – triangle scheme is used. The main features of this scheme are shown below.

According to the principles of this implicit scheme development the time dependent derivative is approximated as following:

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta t}.$$

At the first step of development the convective derivatives are represented as follows:

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

$$\frac{\partial u C}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x},$$

$$\frac{\partial v C}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y},$$

$$\frac{\partial w C}{\partial z} = \frac{\partial w^+ C}{\partial z} + \frac{\partial w^- C}{\partial z},$$

$$\text{where } u^+ = \frac{u + |u|}{2}, \quad u^- = \frac{u - |u|}{2}, \quad v^+ = \frac{v + |v|}{2}, \\ v^- = \frac{v - |v|}{2}, \quad w^+ = \frac{w + |w|}{2}, \quad w^- = \frac{w - |w|}{2}.$$

At the second step the convective derivatives are approximated as following:

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{i+1,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^+ C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1,k}^+ C_{i,j+1,k}^{n+1} - v_{i,j,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^- C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1,k}^- C_{i,j+1,k}^{n+1} - v_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1},$$

$$\frac{\partial w^+ C}{\partial z} \approx \frac{w_{i,j,k+1}^+ C_{i,j,k+1}^{n+1} - w_{i,j,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z} = L_z^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial w^- C}{\partial z} \approx \frac{w_{i,j,k+1}^- C_{i,j,k+1}^{n+1} - w_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z} = L_z^- C^{n+1}.$$

The second order derivatives are approximated as following:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \approx \mu_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} - \\ - \mu_x \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} = \\ = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \approx \mu_y \frac{C_{i,j+1,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y^2} -$$

$$- \mu_y \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j-1,k}^{n+1}}{\Delta y^2} = \\ = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \approx \mu_z \frac{C_{i,j,k+1}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z^2} -$$

$$- \mu_z \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k-1}^{n+1}}{\Delta z^2} = \\ = M_{zz}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1}.$$

In these expressions $L_x^+, L_x^-, L_y^+, L_y^-, L_z^+, L_z^-$, M_{xx}^+, M_{xx}^- are the difference operators. Using these expressions the difference scheme for the transport equation can be written as follows:

$$\frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^{n+1} + L_x^- C^{n+1} + L_y^+ C^{n+1} + \\ + L_y^- C^{n+1} + L_z^+ C^{n+1} + L_z^- C^{n+1} + \sigma C_{i,j,k}^{n+1} = \\ = (M_{xx}^+ C^{n+1} + M_{xx}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1} + \\ + M_{yy}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1} + M_{zz}^- C^{n+1}) + q(t) \delta.$$

Solution of this equation is split in four steps on the time step of integration dt :

– at the first step ($k = \frac{1}{4}$) the difference equation is:

$$\frac{C_{ijk}^{n+k} - C_{ijk}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ = \frac{1}{4} (M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^k + M_{yy}^+ C^n + M_{yy}^- C^n + \\ + M_{zz}^+ C^n + M_{zz}^- C^n) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}(t)_l}{4} \delta_l,$$

– at the second step ($k = n + \frac{1}{2}$, $c = n + \frac{1}{4}$): the difference equation is

$$\frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k =$$

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

$$= \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c + \\ + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^c) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}(t)_l}{4} \delta_l,$$

– at the third step ($k = n + \frac{3}{4}$, $c = n + \frac{1}{2}$) the difference equation is

$$\frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^+ C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ = \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^c + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c + \\ + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^c) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}(t)_l}{4} \delta_l,$$

– at the fourth step ($k = n + 1$, $c = n + \frac{3}{4}$) the difference equation is

$$\frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^- C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ = \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^c + M_{yy}^+ C^k + \\ + M_{zz}^- C^c + M_{zz}^+ C^k) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}(t)_l}{4} \delta_l,$$

Function δ_l is equal to zero in all cells except the cells where the ‘ l ’ source of emission is situated.

This difference scheme is implicit and absolutely steady but the unknown concentration C is calculated using the explicit formulae at each step (so called «method of running calculation»).

The initial condition at each time step is written as following [11]:

$$\left. C \right|_{t=t^n} = C(x, y, z, t^n), \\ \left. C \right|_{t=t^n} = \left. C^{k-1} \right|_{t=t^{k-1}}, \quad k = 2, 3, 4 \\ C(x, y, z, t^{n+1}) = \left. C^5 \right|_{t=t^5},$$

where C^1, C^k, C^5 – are concentrations at each time step.

FORTTRAN language was used to code the developed numerical model.

Findings

The developed generic code «*EMISSION*» was used to solve the following problem. A train with toxic chemical (NH₃) moves near Railway Station «*Illarionovo*» (Dnipropetrovsk Region, Ukraine) and at time $t=0$ the instant emission of NH₃ takes place. This emission results in NH₃ cloud formation (Fig.2). Position of this instant emission is schematically shown as «star» in Fig.1 and «arrow» indicates the direction of the train movement. The train keeps moving after the accident and long term emission of NH₃ ($q = 5 \text{ kg/sec}$) follows the instant emission. So we have scenario «*instant exhaust of toxic chemical + long term emission of it*».



Fig. 1. Satellite image near Railway Station «*Illarionovo*» :
1 – Site # 1 (farm field); 2 – Site #2 (farm field);
dots show the rail way track; «*star*» shows the initial point of emission

Results of numerical simulation of atmosphere pollution for this scenario are shown in Fig. 2–4.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ



Fig. 2. Spatial distribution of NH₃, (initial cloud), $t = 42$ sec (level $z = 10$ m)



Fig. 3. Spatial distribution of NH₃, $t = 70$ sec (level $z = 10$ m)

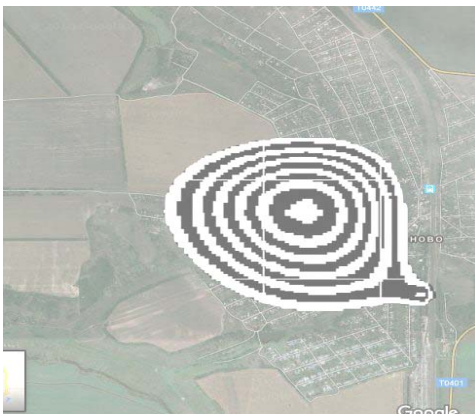


Fig. 4. Spatial distribution of NH₃, $t = 169$ sec (level $z = 10$ m)

It is clear from Fig. 2–4 that the contamination area is formed under the following factors: initial cloud appearance + long term emission from the moving train + atmosphere dispersion and wind.

From the practical point of view it is important

to evaluate the ground pollution intensity. To solve this problem the following expression was integrated

$$G = \int_0^T dt \iint_{S, z=0} (w_s + \mu\alpha) C(x, y, z=0, t) ds, \quad (2)$$

where G is mass of the pollutant which felt down the ground site S , t is time, T is period of integration. «Rectangular method» was used for the numerical integration of this expression. Results of soil pollution prediction after accident are shown in Tabl.1.

Table 1

| Time | 112 sec | 169 sec | 239 sec |
|------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Area | $4628 \cdot 10^3 \text{ m}^2$ | $6222 \cdot 10^3 \text{ m}^2$ | $6925 \cdot 10^3 \text{ m}^2$ |

Soil Pollution Dynamics. In the case of private owners demands to pay their losses after the accident it is important to know the toxic chemical felt down the different sites, for example, the private fields. At present to evaluate the ecological damage in Ukraine, in the case of ground pollution the following formulae is used

$$D = K \times \Pi, \quad (3)$$

where Π is polluted area [m^2], K is money coefficient (grivni, dollars) declared by Administration Regulations.

As it is clear from Eq. (3) to make the adequate evaluation of the ecological damage D it is necessary to obtain the correct information about Π . The developed generic code can solve this problem using formulae (2) which is calculated for marked cells of the computational region. These cells indicate the area, for example, of the farm fields (Fig.2, Site #1 and Site #2). In Tabl.2 results about these sites pollution are presented.

Table 2

Mass of Toxic Chemical felt down the Different Sites

| Time | Site #1 (See Fig.1) | Site #2 (See Fig.1) |
|---------|--------------------------|--------------------------|
| 154 sec | 0.41×10^5 grams | 723 grams |
| 211 sec | 0.81×10^5 grams | 6 166 grams |
| 267 sec | 0.10×10^6 grams | 0.22×10^5 grams |

Results from Tabl.2 show that the most contaminated area is formed at Site #1 which is influenced by initial cloud and following emission from moving train.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Originality and practical value

A new numerical model to predict atmosphere pollution after accidents at railways was developed. The model is based on the 3-D transport equation. The developed model takes into account wind profile, diffusion, emission rate and source movement. This model allows to evaluate the ecological damage in the case of different emissions at railways. The model can be useful in the field of safety prediction of transport routes and risk assessment.

Conclusions

The article contains results of numerical simulation of air pollution near Illarionovo station after accident at railway. To simulate the process of air pollution the 3-D developed numerical model was used. The developed numerical model takes into account the main physical processes which influence the pollutant dispersion in atmosphere. The future work in this field will be connected with development of fluid dynamics model to simulate the pollutant dispersion over the complex terrain.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Авария и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий : учеб. пособие : в 5 кн. / под ред. В. А. Котляревского, А. В. Забегаева. – Москва : АСВ, 2001. – Кн. 5. – 416 с.
2. Беляев, Н. Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций : монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. Б. Машихина. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2013. – 159 с.
3. Беляев, Н. Н. Прогнозирование загрязнения приземного слоя атмосферы при горении твердого ракетного топлива в хранилище / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов // Зб. наук. пр. НГУ. – Дніпропетровськ, 2013. – № 42. – С. 160–167.
4. Берлов, А. В. Расчет загрязнения приземного слоя атмосферы при горении твердого ракетного топлива / А. В. Берлов // Наук. вісн. буд-ва : зб. наук. пр. / Харків. держ. техн. ун-т буд-ва та архіт. – Харків, 2014. – № 1 (75). – С. 185–189.
5. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
6. Гусев, Н. Г. Радиоактивные выбросы в биосфере / Н. Г. Гусев, В. А. Беляев. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 257 с.
7. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. – Москва : Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
8. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.
9. Машихина, П. Б. Моделирование распространения примеси в атмосфере с учетом рельефа местности / П. Б. Машихина // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 27. – С. 138–142.
10. Русакова, Т. И. Прогнозирование загрязнения воздушной среды от автотранспорта на улицах и в микрорайонах города / Т. И. Русакова // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 6 (48). – С. 32–45. doi: 10.15802/stp2013/19675.
11. Самарский, А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – Москва : Наука, 1983. – 616 с.
12. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – Киев : Наук. думка, 1997. – 368 с.
13. Швыряев, А. А. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе / А. А. Швыряев, В. В. Меньшиков. – Москва : Изд-во МГУ, 2004. – 124 с.
14. Эльтерман, В. М. Вентиляция химических производств / В. М. Эльтерман. – Москва : Химия, 1980. – 288 с.
15. Biliaiev, M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography / M. Biliaiev // NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. – Springer : Netherlands, 2012. – P. 87–91. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_15.
16. Hanna, S. Air Quality Modelling over Short Distances / S. Hanna // College on Atmospheric Boundary Layer and Air Pollution Modeling. – 16 May–3 June, 1994. – № SMR/760–2. – P. 712–743.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

М. М. БІЛЯЄВ^{1*}, Л. Я. МУНТЯН^{2*}

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

^{2*}Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта lili.muntian@gmail.com, ORCID 0000-0002-1659-7740

ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ХІМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНОЇ РЕЧОВИНИ ПРИ АВАРІЇ НА ЗАЛІЗНИЦІ

Мета. Це дослідження спрямоване на розробку прикладної числової моделі для розрахунку динаміки забруднення атмосфери при емісії хімічно небезпечної речовини у разі його транспортування залізничним транспортом. **Методика.** Для числового моделювання процесу перенесення хімічно небезпечної речовини в атмосфері застосовується рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки. Це рівняння враховує вплив вітру, атмосферної дифузії, потужності джерела емісії, а також рух джерела емісії (розгерметизованої цистерни) на процес розсіювання забруднювача. Під час виконання обчислювального експерименту також враховується профіль швидкості вітрового потоку. Для числового інтегрування рівняння переносу домішки в атмосфері застосовується неявна різницева схема розщеплення. Числовий розрахунок розбивається на чотири кроки розщеплення, і на кожному кроці розщеплення невідоме значення концентрації небезпечної речовини визначається за явною схемою «біжучого» рахунку. На основі побудованої числової моделі створений код на алгоритмічній мові Фортран. Виконано обчислювальний експеримент із оцінки рівня забруднення атмосфери поблизу залізничної станції «Іларіонове» у разі можливої аварії при транспортуванні аміаку. **Результати.** Запропонована модель дозволяє оперативно розрахувати забруднення атмосфери при викиді хімічно небезпечної речовини з урахуванням руху джерела емісії. Модель дозволяє визначити розміри зони забруднення поверхні землі, а також кількість забруднювача, що осів на конкретну ділянку. За допомогою розробленої числової моделі виконано оцінку екологічного збитку поблизу залізничної станції «Іларіонове». **Наукова новизна.** Створено ефективну числову модель, що дозволяє оперативно розраховувати екологічний збиток при емісії небезпечних речовин на об'єктах залізничного транспорту. **Практична значимість.** Розроблена авторами числова модель може бути використана для оцінки розмірів та інтенсивності зон хімічного забруднення при надзвичайних ситуаціях на транспорті. За допомогою розробленої числової моделі розв'язана задача з оцінки наслідків аварійної емісії аміаку біля залізничної станції «Іларіонове».

Ключові слова: аварії на залізничному транспорті; забруднення атмосфери; хімічно небезпечна речовина; числове моделювання

Н. Н. БЕЛЯЕВ^{1*}, Л. Я. МУНТЯН^{2*}

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

^{2*}Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта lili.muntian@gmail.com, ORCID 0000-0002-1659-7740

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОГО ВЕЩЕСТВА ПРИ АВАРИИ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Цель. Данное исследование направлено на разработку прикладной численной модели для расчета динамики загрязнения атмосферы при эмиссии химически опасного вещества в случае его транспортировки железнодорожным транспортом. **Методика.** Для численного моделирования процесса переноса химически опасного вещества в атмосфере применяется уравнение конвективно-диффузионного переноса примеси.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Данное уравнение учитывает влияние ветра, атмосферной диффузии, мощности источника эмиссии, а также движение источника эмиссии (разгерметизированной цистерны) на процесс рассеивания загрязнителя. При проведении вычислительного эксперимента также учитывается профиль скорости ветрового потока. Для численного интегрирования уравнения переноса примеси в атмосфере применяется неявная разностная схема расщепления. Численный расчет разбивается на четыре шага расщепления, и на каждом шаге расщепления неизвестное значение концентрации опасного вещества определяется по явной схеме «бегущего» счета. На основе построенной численной модели создан код на алгоритмическом языке Фортран. Проведен вычислительный эксперимент по оценке уровня загрязнения атмосферы вблизи железнодорожной станции «Илларионово» в случае возможной аварии при транспортировке аммиака. **Результаты.** Предложенная модель позволяет оперативно рассчитать загрязнение атмосферы при выбросе химически опасного вещества с учетом движения источника эмиссии. Модель позволяет определить размеры зоны загрязнения поверхности земли, а также количество загрязнителя, осевшего на конкретный участок. С помощью разработанной численной модели выполнена оценка экологического ущерба вблизи железнодорожной станции «Илларионово». **Научная новизна.** Создана эффективная численная модель, позволяющая оперативно рассчитывать экологический ущерб при эмиссии опасных веществ на объектах железнодорожного транспорта. **Практическая значимость.** Разработанная учеными численная модель может быть использована для оценки размеров и интенсивности зон химического загрязнения при чрезвычайных ситуациях на транспорте. С помощью разработанной численной модели решена задача по оценке последствий аварийной эмиссии аммиака возле железнодорожной станции «Илларионово».

Ключевые слова: аварии на железнодорожном транспорте; загрязнение атмосферы; химически опасное вещество; численное моделирование

REFERENCES

1. Kotlyarevskiy V.A., Zabegayev A.V. *Авария и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 5.* [Accident and disasters. Warning and liquidation of consequences, Vol. 5]. Moscow, ACB Publ., 2001.
2. Belyayev N.N., Gunko Ye.Yu., Mashikhina P.B. *Matematicheskoye modelirovaniye v zadachakh ekologicheskoy bezopasnosti i monitoringa chrezvychaynykh situatsiy* [Mathematical design in the tasks of ecological safety and monitoring of emergencies]. Dnipropetrovsk, Aktsent PP Publ., 2013. 159 p.
3. Belyayev N.N., Berlov A.V. *Prognostirovaniye zagryazneniya prizemnogo sloya atmosfery pri gorenii tverdogo raketnogo topliva v khranilishche* [Prognostication of contamination of the ground layer of atmosphere at burning of solid rocket propellant in depository]. *Zbirnyk naukovykh prats natsionalnoho hirnychoho universytetu* [Proc. of the National Mining University], 2013, no. 42, pp. 160-167.
4. Berlov A.V. *Raschet zagryazneniya prizemnogo sloya atmosfery pri gorenii tverdogo raketnogo topliva* [Zbirnyk naukovykh prats natsionalnoho hirnychoho universytetu «Naukovyi visnyk budivnytstva»] [Proc. of the National Mining University «Scientific Bulletin of Building»], 2014, no. 1 (75), pp. 185-189.
5. Berlyand M.Ye. *Prognoz i regulirovaniye zagryazneniya atmosfery* [Prognosis and adjusting of contamination of atmosphere]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985. 273 p.
6. Gusev N.G., Belyayev V.A. *Radioaktivnyye vybrosty v biosfere* [Radioactive discharges in the biosphere]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 257 p.
7. Izrayel Yu.A. *Ekologiya i kontrol sostoyaniya prirodnoy sredy* [Ecology and control of the state of natural environment]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1984. 560 p.
8. Marchuk G.I. *Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushchey sredy* [Mathematical modeling in the environmental problem]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 320 p.
9. Mashikhina P.B. *Modelirovaniye rasprostraneniya primesi v atmosfere s uchetom relyefa mestnosti* [The distribution modeling of impurities in the atmosphere taking into account of terrain]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 27, pp. 138-142.
10. Rusakova T.I. *Prognostirovaniye zagryazneniya vozdukhnoy sredy ot avtotransporta na ulitsakh i v mikrorayonakh goroda* [Prediction of air pollution from autotransport in streets and districts of city]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2013, no. 6 (48), pp. 32-45. doi: 10.15802/stp2013/19675.
11. Samarskiy A.A. *Teoriya raznostnykh skhem* [The theory of difference schemes]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 616 p.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

12. Zgurovskiy M.Z., Skopetskiy V.V., Khrushch V.K., Belyayev N.N. *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modeling of pollution in the environment]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1997. 368 p.
13. Shvyryayev A.A., Menshikov V.V. *Otsenka riska vozdeystviya zagryazneniya atmosfery v issleduyemom regione* [Risk assessment of atmosphere pollution effect in the region under study]. Moscow, MGU Publ., 2004. 124 p.
14. Elterman V.M. *Ventilyatsiya khimicheskikh proizvodstv* [Ventilation of chemical productions]. Moscow, Khimiya Publ., 1980. 288 p.
15. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 2012, pp.87-91.
16. Hanna S. Air Quality Modelling over Short Distances. College on Atmospheric Boundary Layer and Air Pollution Modelling. 16 May–3 June, 1994, no. SMR/760–2, pp. 712-743.

Prof. S. A. Pichugov, D. Sc. (Phys.-Math.); (Ukraine); Prof. V. D. Petrenko, D. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: Nov. 16, 2015

Received: March 20, 2016

UDC 331.453:613.155:697.953:[519.6:004.94]

M. M. BILIAIEV^{1*}, S. G. TSYGANKOVA^{2*}

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

^{2*}Dep. «Water Supply, Drainage and Hydraulic», Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevskiy St., 24-a, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. +38 (050) 697 92 18, e-mail s-tsygankova@mail.ru, ORCID 0000-0002-9837-3109

COMPLEX OF NUMERICAL MODELS FOR COMPUTATION OF AIR ION CONCENTRATION IN PREMISES

Purpose. The article highlights the question about creation the complex numerical models in order to calculate the ions concentration fields in premises of various purpose and in work areas. Developed complex should take into account the main physical factors influencing the formation of the concentration field of ions, that is, aerodynamics of air jets in the room, presence of furniture, equipment, placement of ventilation holes, ventilation mode, location of ionization sources, transfer of ions under the electric field effect, other factors, determining the intensity and shape of the field of concentration of ions. In addition, complex of numerical models has to ensure conducting of the express calculation of the ions concentration in the premises, allowing quick sorting of possible variants and enabling «enlarged» evaluation of air ions concentration in the premises. **Methodology.** The complex numerical models to calculate air ion regime in the premises is developed. CFD numerical model is based on the use of aerodynamics, electrostatics and mass transfer equations, and takes into account the effect of air flows caused by the ventilation operation, diffusion, electric field effects, as well as the interaction of different polarities ions with each other and with the dust particles. The proposed balance model for computation of air ion regime indoors allows operative calculating the ions concentration field considering pulsed operation of the ionizer. **Findings.** The calculated data are received, on the basis of which one can estimate the ions concentration anywhere in the premises with artificial air ionization. An example of calculating the negative ions concentration on the basis of the CFD numerical model in the premises with reengineering transformations is given. On the basis of the developed balance model the air ions concentration in the room volume was calculated. **Originality.** Results of the air ion regime computation in premise, which is based on numerical 2D CFD model and balance model, are presented. **Practical value.** A numerical CFD model and balance model for the computation of air ion regime allow calculating the ions concentration in the premises in the conditions of artificial air ionization taking into account the main physical factors determining the formation of ions concentration fields.

Keywords: air ions regime; concentration field of air ions, artificial ionization; CFD model; balance model

Introduction

In recent years in field of labor protection considerable attention is paid to the observance of the appropriate qualitative air composition in premises, as evidenced by the increased number of publications, both domestic and foreign scientists on this problem. Since to support air ion regime use often artificial ionization of the air, it is necessary calculate quickly the ions concentration anywhere in the premises. Thus it is necessary to take into account the geometric characteristics of the premises, placement therein of furniture and equipment, the presence dust sources, the aerodynamics of the air jets in the room, the interaction of different polarities ions with each other and with dust particles etc. In addition to the aforesaid, there is need to

develop methods for express calculation of the ions concentration in the premises, allowing quick sorting variants and enabling the «integrated» evaluation of the ions concentration in the premises.

Currently in Ukraine are used mainly analytical models [5-13] for computation air ion concentration in premises. As a rule, these models do not consider the presence of equipment, furniture, dust emission sources, physical factors influencing the formation of ions concentration field. To take into account these factors, it is expedient to use CFD models [2-4, 15, 18]. For a quick evaluation of the ions concentration in the premises can be used the balance models [2-4, 15, 18].

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Purpose

The purpose of this work is to develop complex of numerical models to calculate the ions concentration field at using artificial ionization of air to support air ion regime in the premises.

Methodology

In this paper, two numerical models to calculate the concentration of ions in the premises were proposed.

The first model. To calculate the ions concentration in the premises 2D CFD model, which is based on the mass transport, aerodynamics and electrostatics equations, is proposed. This model is developed taking into account physical factors that influence the formation of ions concentration field. Also at modeling the geometric characteristics of premises, placement of furniture and equipment, presence of dust emission sources, the interaction of different polarities ions with each other and with dust particles is taken into account. In view of the aforesaid at the modeling of ions dispersion process, transport equation will have the form [18]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(u + bE)C}{\partial x} + \frac{\partial(v + bE)C}{\partial y} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \alpha CB - \\ - \beta CD + \sum Q_c(t) \delta(x - x_c) \delta(y - y_c), \quad (1) \end{aligned}$$

where C , B , D – is the concentration of negative and positive air ions and dust particles respectively; u , v , – velocity components of airflow in the room; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – diffusion coefficients; t – time; α – recombination rate of ions with different polarity; β – the recombination rate of ions with dust particles; Q_{ci} – the intensity of the negative ions emission at the appropriate points with the coordinates x_c, y_c ; $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$ – Dirac delta function; b – coefficient of ion mobility; E – electric field intensity.

Since air ions have a charge, they generate an electric field E , which is described by the following equation [18]:

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} = \frac{q_e}{\varepsilon_0}, \quad (2)$$

here ε_0 – is the dielectric permittivity; q_e – is the space charge density.

From equation (2) can go to the scalar potential, taking into account such dependence

$$\begin{aligned} E_x &= -\frac{\partial \phi}{\partial x}, \\ E_y &= -\frac{\partial \phi}{\partial y}. \end{aligned} \quad (3)$$

Then we get the Poisson equation of the following form [18], which we will be used to simulate the electric field:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = -\frac{q_e}{\varepsilon_0}, \quad (4)$$

here $q_e = -eC(x, y)$, $C(x, y)$ – is the concentration of negative air ions; ϕ – scalar potential; e – elementary charge. On the basis of this equation is a performed simulation of the electric field.

To describe the processes of positive ions and dust dispersion we will use the equation of transfer in the form [18]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial B}{\partial t} + \frac{\partial uB}{\partial x} + \frac{\partial vB}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial B}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial B}{\partial y} \right) - \alpha CB - \beta BD + \\ + \sum Q_B(t) \delta(x - x_B) \delta(y - y_B), \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial uD}{\partial x} + \frac{\partial vD}{\partial y} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial D}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial D}{\partial y} \right) + \\ + \sum Q_{Di}(t) \delta(x - x_D) \delta(y - y_D). \quad (6) \end{aligned}$$

Designation of the physical parameters in these equations is the same, which was given for the equation (1).

To calculate the aerodynamics of air flow in the room a model of potential flow will be used. In this case the Laplace equation for the velocity potential

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

is a modeling equation

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (7)$$

where P – is velocity potential.

The components of the air environment velocity vector are connected with the velocity potential following dependencies

$$\begin{aligned} u &= \frac{\partial P}{\partial x}, \\ v &= \frac{\partial P}{\partial y}. \end{aligned} \quad (8)$$

Formulation of boundary conditions for the modeling equations is considered in [1, 15, 18].

For the numerical integration of the transfer equations [1, 12, 15, 18] is used the implicit alternately – triangular difference schemes, which has being implemented by the method of running accounts [1]. For the numerical solution of the Laplace equation and Poisson's equation the Liebmann method is used. The calculation is performed on rectangular difference grid.

On the basis of the difference schemes was designed the software package (code) «ION-2». This package is built on a modular principle; each subprogram implements a specific numerical integration of the modeling equation and implementing appropriate boundary conditions.

A feature of the modeled process is the presence of furniture in the room, i.e., objects, influencing the formation of ion concentration field. To «reproduce» these and other objects in the numerical model one uses a technology called «*porosity technique*», also called the method of marking [1]. The essence of this technology lies in the encoding of difference cells, which belong to such facilities, and the implementation of them in the appropriate boundary conditions.

The second model. For the deduction of express method of the ions concentration computation in the premises the following equation will be used:

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= q_n(t) - \alpha np - \beta nA + \\ &+ n_0(t) \frac{Q(t)}{V} - n \frac{Q(t)}{V} - \lambda_i n \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{dp}{dt} &= q_p(t) - \alpha np - \beta pA + \\ &+ p_0(t) \frac{Q(t)}{V} - p \frac{Q(t)}{V} - \lambda_i n \end{aligned} \quad (10)$$

here q_n , q_p are the generation rate of negative and positive ions in the room accordingly; n_0 , p_0 are the negative and positive ion concentrations external to the room; α – is the recombination rate of ions with those of opposite polarity; β – is the rate of combination of ions with dust particles; A – is dust concentration; V – volume; Q – ventilation rate; λ_i – the electrostatic deposition of ions.

To describe the dust mass transport equation the equation of the form is used [14]:

$$\frac{dA}{dt} = q_A(t) + A_0(t) \frac{Q(t)}{V} - A \frac{Q(t)}{V} - \lambda_p n \quad (11)$$

here q_A is the generation of particles in the space; A_0 is the external particle concentration; λ_p – the electrostatic deposition of dust particles.

In contradistinction to the classical model Mayya Y. [14] in the equations (9) – (11) takes into account the dependence on time of negative and positive ions emission and dust emission in the premises and the time dependence of the air exchange rate. The system of the given equations closes by setting the initial conditions of the form

$$A(t=0) = A_0, \quad n(t=0) = n_0, \quad p(t=0) = p_0.$$

These conditions define the initial values of dust, negative and positive ions concentration, respectively, before the ionization of the air in the premises. It should be noted that the equations (9) – (11) define the concentration of negative and positive ions and dust are not in the room, but on the exit of it. This is defined by the condition that is the deduction of the balance ratios.

Parameter λ_i can be defined under equation:

$$\lambda_i = \frac{b}{\varepsilon_0} (q_e + q_e eA) \quad (12)$$

where b – is the ion mobility; ε_0 is the permittivity of free space, q_e – the space charge density, which can be expressed as

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

$$q_e = en - ep \quad (13)$$

here e – is the elementary charge.

The electrostatic deposition of dust λ_p can be defined under formula

$$\lambda_p = \frac{D_p}{D_i} q_c \lambda_i \quad (14)$$

where D_p and D_i are the dust and ion diffusion coefficients accordingly; q_c – is the characteristic number of charges.

The characteristic number of charges can be found from the expression:

$$q_c = \frac{4\pi\epsilon_0 d_p kT}{e^2} \times \left[\ln \left[1 + \frac{d_p c p e^2 t}{4\epsilon_0 kT} \right] - \ln \left[1 + \frac{d_p c n e^2 t}{4\epsilon_0 kT} \right] \right] \quad (15)$$

where k is the Boltzmann constant; T is the absolute temperature; c is the thermal speed of the ions; d_p is the dust particle diameter; t is the time.

However, following [14], the summands λ_p , λ_i can be omitted.

The balance equation (9) – (11) is numerically solved by using Euler's method.

For a numerical calculation of the equations (9) – (11) developed a program BALANCE-1 is realized in FORTRAN. For practical use of the program must be set: the premises volume; air exchange rate; concentrations of negative and positive ions and dust, which flows into the premises; the intensity of negative and positive ions emission and dust emission in the premises.

Findings

The first model. CFD numerical model was used to calculate the ions concentration field in the premises volume at the conditions of artificial air ionization by setting the ionizer indoors.

Sketch of the computational domain is shown in Fig. 1. It is the premises where the air flows enter through the ventilation system. The air exit from the room occurs through the outlet in the wall. The work area includes table and chair placed next. Placement of ionizer was shown in Fig. 1,

pos. 5. The intensity of the negative ions emission from the ionizer is 1.3×10^{11} particles/s.

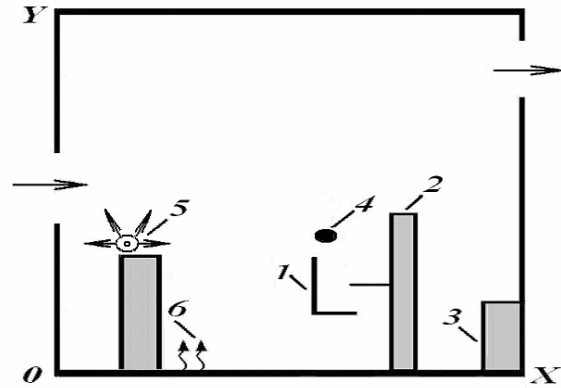


Fig. 1. The computational domain (before reengineering):
1 – chair; 2 – work desk; 3 – rack;
4 – place of positive ions emission (the position of the respiratory organs); 5 – ionizer;
6 – place of dust emission

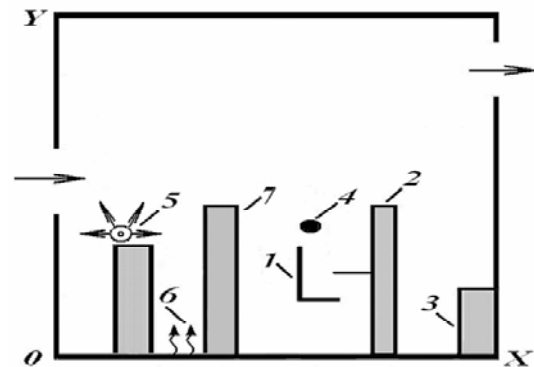


Fig. 2. The computational domain (after reengineering):
1 – chair; 2 – work desk; 3 – rack;
4 – place of positive ions emission (the position of the respiratory organs); 5 – ionizer;
6 – place of dust emission; 7 – cupboard

The people are the source of positive ions emission in the room. Therefore in the zone of their respiratory organs (Fig. 1, pos. 4) set point sources of positive ions emission intensity $Q_b = 7 \times 10^4$ particles/s. The other of the problem parameters are: the size of the computational domain $7.25\text{m} \times 4.20\text{m}$; the position of the inlet and outlet ventilation holes is shown by arrows in Fig. 1; $\alpha = 1.5 \times 10^{-12} \text{ m}^3/\text{s}$, $\beta = 1 \times 10^{-12} \text{ m}^3/\text{s}$ [15, 18]; the coefficients of turbulent diffusion in all directions are

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

taken to equal $\mu_x = \mu_y = kV$ (where $k = 0,1$ – the parameter, V – the local velocity in the specific computational point and it is defined by solving the aerodynamic problem). Dust emission occurs indoor, $Q_d = 45 \times 10^4$ particles/s (dust emission position shown in Fig. 1 and Fig. 2 as a wavy line).

Sketch of the same premises where the rearrangement of the furniture is made, was shown in Fig. 2.

Purpose of numerical modeling is definition of the negative ions concentration in the room and the area of the human respiratory system.

The results of numerical simulation in the following figures are shown. On these figures the negative ions concentration field in the room was given.

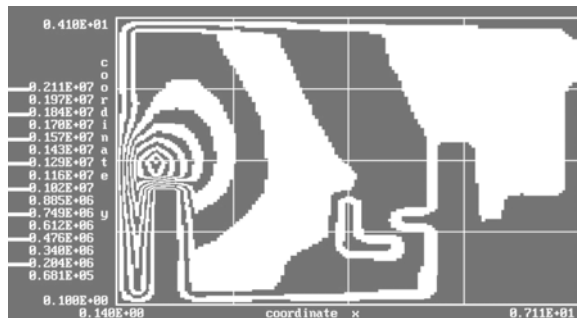


Fig. 3. Concentration field of negative air ions in the room (before reengineering)



Fig. 4. Concentration field of negative air ions in the room (after reengineering)

As shown in Fig. 3 and Fig. 4, the negative ions concentration in the area of the employee respiratory organs (the position over the chair) for the first variant is about 0.032×10^{12} particles/m³, and after reengineering of the order 0.015×10^{12} particles/m³. That is, the concentration has decreased in 2 times, due to the influence of the installed equipment (Fig. 2, pos. 7) on the formation of air ions concentration field. For the solution of the

problem on the basis of the developed CFD model it took about 1 minute of computer time.

The second model. On the basis of the second model calculations were performed to evaluate negative ions concentration in the office premises with volume 62 m³. It should be noted that this «clean volume» of the premises without furniture and other objects. Indoor occurs emission of positive ions in a quantity 22×10^3 particles/s. There is an air, which flows into the premises and contain dust in a quantity 6×10^3 particles/m³; positive ions in a quantity 10^4 particles/m³, and negative ions in a quantity 2×10^3 particles/m³. Ionizer works indoor. The computation is performed for the intensity of the negative ions emission from the ionizer in a quantity 9×10^7 particles/s (the first variant of emission) and 12×10^7 particles/s (the second variant of emission). As a result of calculation negative ions concentration was 0.029×10^{12} particles/m³ for the first variant of emission and 0.040×10^{12} particles/m³ for the second variant of emission. Time of computation is about one second.

Originality and practical value

The complex of numerical models for computation the air ions concentration in the premises was developed. 2D CFD model, which is based on the use of aerodynamics, electrostatics and mass transport equations, allows taking into account the basic physical factors determining the formation of air ions concentration fields in the premises and work areas. CFD model allows calculating air ions concentration field in premises and working areas at artificial air ionization with taking into account the installed equipment, and given the location of ionizers.

Developed balance model allows calculating quickly the air ions concentration in the premises at artificial air ionization. Also, this model allows take into account the impulse regime of ionizer operation.

Conclusions

The article contains numerical simulation results of air ion regime in office premises with artificial air ionization. Calculated ions concentration field in the room is presented in the form of isolines. To solve the problem on the basis of the de-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

veloped CFD model took about a minute of computer time. The numerical balance model allows calculating quickly the air ions concentration in the premises. Calculation using the balance model takes about one second of computer time.

LIST OF REFERENCES LINKS

1. Беляев, Н. Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ : монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Расточило. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2014. – 136 с.
2. Беляев, Н. Н. Комплекс численных моделей для расчета концентрации аэроионов в помещениях / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 30–38. doi:10.15802/stp2016/60947.
3. Беляев, Н. Н. Оценка аэроионного режима в рабочих зонах на базе CFD-модели / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Зб. наук. пр. НГУ. – Дніпропетровськ, 2015. – № 46. – С. 168–173.
4. Беляев, Н. Н. Расчет аэроионного режима в помещении и в рабочей зоне на базе численной модели / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Зб. наук. пр. НГУ. – Дніпропетровськ, 2015. – № 47. – С. 137–143.
5. Визначення та прогнозування динаміки зміни аероіонного складу повітря виробничих приміщень / В. А. Глива, В. І. Клапченко, С. М. Пономаренко [та ін.] // Вісн. нац. техн. ун-ту України «Київський політехн. ін-т». Серія: «Гірництво». – Київ, 2010. – Вип. 19. – С. 161–168.
6. Деякі аспекти забезпечення нормативного аероіонного режиму робочого середовища приміщень спеціального призначення МНС України / І. О. Толкунов, В. В. Маринюк, І. І. Попов, В. В. Пономар // Проблеми надзвичайних ситуацій : зб. наук. пр. / Нац. ун-т цив. захисту України. – Харків, 2008. – № 8. – С. 198–206.
7. Запорожець, О. І. Нормування аероіонного складу повітря робочих приміщень та основні напрями його вдосконалення / О. І. Запорожець, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісн. нац. авіац. ун-ту. – 2011. – № 1. – С. 139–143.
8. Запорожець, О. І. Принципи моделювання динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях / О. І. Запорожець, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісн. нац. авіац. ун-ту. – 2011. – № 2. – С. 120–124.
9. Левченко, Л. О. Тривимірне моделювання просторових розподілів концентрацій аероіонів у повітрі приміщень / Л. О. Левченко, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Управління розвитком складних систем : зб. наук. пр. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. – Київ, 2012. – № 1. – С. 198–206.
10. Моделирование распределения концентрации ионов вблизи ионизатора / В. Е. Бахрушин, М. А. Игнашина, Д. В. Вертинский, А. Ю. Евсюков // Складні системи та процеси. – 2002. – № 1. – С. 30–36.
11. Толкунов, І. О. Біполярна іонізація повітряного середовища приміщень функціональних підрозділів мобільного госпіталю МНС / І. О. Толкунов // Проблеми надзвичайних ситуацій : зб. наук. пр. / Нац. ун-т цив. захисту України. – Харків, 2014. – Вип. 14. – С. 161–170.
12. Толкунов, І. О. Моделювання процесів формування полів концентрації аероіонів у повітряному середовищі приміщень спеціального призначення МНС України / І. О. Толкунов, І. І. Попов // Проблеми надзвичайних ситуацій : зб. наук. пр. / Нац. ун-т цив. захисту України. – Харків, 2010. – Вип. 12. – С. 175–184.
13. Толкунов, І. А. Теоретическое исследование процессов переноса аэроионов в потоках воздуха в помещениях специального назначения МЧС Украины / И. А. Толкунов, И. И. Попов, В. В. Барбашин // Проблеми надзвичайних ситуацій : зб. наук. пр. / Нац. ун-т цив. захисту України. – Харків, 2010. – Вип. 11. – С. 137–145.
14. Aerosol removal by unipolar ionization in indoor environments / Y. S. Mayya, B. K. Sapra, A. Khan, F. Sunny // J. of Aerosol Science. – 2004. – Vol. 35. – P. 923–941. doi: 10.1016/j.jaerosci.2004.03.001.
15. Air ion behavior in ventilated rooms / L. A. Fletcher, C. J. Noakes, P. A. Sleight [et al.] // Indoor and Built Environment. – 2008. – Vol. 17, № 2. – P. 173–182. doi: 10.1177/1420326x08089622.
16. Drexler, P. Numerical modeling of accuracy of air ion field measurement / P. Drexler, P. Fiala, K. Bartusek // J. of Electrical Engineering. – 2006. – Vol. 57, № 8/S – P. 62–65.
17. Murakami, S. Computational wind engineering / S. Murakami // J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1990. – Vol. 36, pt. 1. – P. 517–538. doi:10.1016/0167-6105(90)90335-A.
18. Noakes, C. J. Modelling the air cleaning performance of negative air ionisers in ventilated rooms [Electronic resource] / C. J. Noakes, P. A. Sleight, C. Beggs // Proc. of the 10th Intern. Conf. on Air Distribution in Rooms. – Roomvert, 2007 (13.06–15.06.2007). – Helsinki, 2007. – Available at: http://eprints.whiterose.ac.uk/7700/1/Noakes_roo

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

- mvent_07.pdf. – Title from the screen. – Accessed : 17.09.2015.
19. The impact of the air distribution method in ventilated rooms on the aerosol particle dispersion and removal: The experimental approach / A. Jurelionis, L. Gagytė, T. Prasauskas [et al.] // *Energy and Buildings*. – 2015. – Vol. 86. – P. 305–313. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.10.014.

М. М. БІЛЯЄВ^{1*}, С. Г. ЦИГАНКОВА^{2*}

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

^{2*}Каф. «Водопостачання, водовідведення та гідравліки», Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. +38 (050) 697 92 18, ел. пошта s-tsygankova@mail.ru, ORCID 0000-0002-9837-3109

КОМПЛЕКС ЧИСЛОВИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ КОНЦЕНТРАЦІЇ АЕРОІОНІВ У ПРИМІЩЕННЯХ

Мета. В статті повинно бути розглянуто створення комплексу числових моделей для розрахунку концентраційних полів аероіонів у приміщеннях різного призначення та в робочих зонах. Розроблений комплекс повинен враховувати основні фізичні фактори, що впливають на процес формування концентраційного поля аероіонів. Тобто: аеродинаміку повітряних струменів у приміщенні, наявність меблів, обладнання, розміщення вентиляційних отворів, режиму вентиляції, розташування джерел іонізації, перенесення іонів під дією електричного поля, інші фактори, що визначають інтенсивність та форму концентраційного поля аероіонів. Крім того, комплекс числових моделей повинен забезпечити проведення експрес-розрахунку концентрації аероіонів у приміщенні, який дозволяв би швидкий перебір можливих варіантів та можливість «укрупненої» оцінки концентрації аероіонів у приміщенні. **Методика.** Розроблено комплекс числових моделей для розрахунку аероіонного режиму в приміщеннях. Числова CFD-модель заснована на застосуванні рівнянь аеродинаміки, електростатики і масопереносу та дозволяє враховувати вплив потоків повітря, викликаних роботою вентиляції, дифузії, вплив електричного поля, а також взаємодію іонів різної полярності один із одним та з частинками пилу. Запропонована балансова модель розрахунку аероіонного режиму в приміщеннях дозволяє оперативно розраховувати концентраційне поле аероіонів із урахуванням імпульсного режиму роботи іонізаторів. **Результати.** Отримано розрахункові дані, на основі яких можна оцінити концентрацію аероіонів у будь-якому місці приміщення зі штучною іонізацією повітря. Наведено приклад розрахунку концентрації негативних іонів на базі числової CFD-моделі в приміщенні з реінжиніринговими перетвореннями. На базі розробленої балансової моделі розрахована концентрація аероіонів в об'ємі приміщення. **Наукова новизна.** Подано результати розрахунку аероіонного режиму в приміщенні на базі числової 2D CFD-моделі та балансової моделі. **Практична значимість.** Розроблені балансова та числові CFD-моделі для розрахунку аероіонного режиму дозволяють розраховувати концентрацію аероіонів у приміщеннях в умовах штучної іонізації повітря з урахуванням основних фізичних факторів, що визначають формування концентраційних полів аероіонів.

Ключові слова: аероіонний режим; концентраційне поле аероіонів; штучна іонізація; CFD-модель; балансова модель

Н. Н. БЕЛЯЕВ^{1*}, С. Г. ЦЫГАНКОВА^{2*}

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

^{2*}Каф. «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика», Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (050) 697 92 18, эл. почта s-tsygankova@mail.ru, ORCID 0000-0002-9837-3109

КОМПЛЕКС ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОИОНОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ

Цель. В статье должен быть рассмотрен вопрос создания комплекса численных моделей для расчета концентрационных полей аэроионов в помещениях различного назначения и в рабочих зонах. Разработанный комплекс должен учитывать основные физические факторы, влияющие на процесс формирования концентрационного поля аэроионов. То есть: аэродинамику воздушных струй в помещении, наличие мебели, оборудования, размещения вентиляционных отверстий, режима вентиляции, местоположения источников ионизации, переноса ионов под действием электрического поля, других факторов, определяющих интенсивность и форму концентрационного поля аэроионов. Кроме того, комплекс численных моделей должен обеспечить проведение экспресс-расчета концентрации аэроионов в помещении, позволяющего быстрый перебор возможных вариантов и дающего возможность «укрупненной» оценки концентрации аэроионов в помещении. **Методика.** Разработан комплекс численных моделей для расчета аэроионного режима в помещениях. Численная CFD-модель основана на применении уравнений аэродинамики, электростатики, массопереноса и позволяет учитывать влияние потоков воздуха, вызванных работой вентиляции, диффузии, воздействия электрического поля, а также взаимодействие ионов различной полярности друг с другом и с частицами пыли. Предложенная балансовая модель расчета аэроионного режима в помещениях позволяет оперативно рассчитывать концентрационное поле аэроионов с учетом импульсного режима работы ионизаторов. **Результаты.** Получены расчетные данные, на основании которых можно оценить концентрацию аэроионов в любом месте помещения с искусственной ионизацией воздуха. Приведен пример расчета концентрации отрицательных ионов на базе численной CFD-модели в помещении с реинжиниринговыми преобразованиями. На базе разработанной балансовой модели рассчитана концентрация аэроионов в объеме помещения. **Научная новизна.** Представлены результаты расчета аэроионного режима в помещении на базе численной 2D CFD-модели и балансовой модели. **Практическая значимость.** Разработанные балансовая и численные CFD-модели для расчета аэроионного режима позволяют рассчитывать концентрацию аэроионов в помещениях в условиях искусственной ионизации воздуха с учетом основных физических факторов, определяющих формирование концентрационных полей аэроионов.

Ключевые слова: аэроионный режим; концентрационное поле аэроионов; искусственная ионизация; CFD-модель; балансовая модель

REFERENCES

1. Belyayev N.N., Gunko Ye.Yu., Rastochilo N.V. *Zashchita zdaniy ot proniknoveniya v nikh opasnykh veshchestv* [Protection of building from penetration of hazardous substances]. Dnipropetrovsk, Aktsent PP Publ., 2014. 136 p.
2. Belyayev N.N., Tsygankova S.G. Kompleks chislennykh modeley dlya rascheta kontsentratsii aeroionov v pomeshcheniyakh [Complex of numerical models for computation of air ion concentration in premises]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2016, no. 1 (61), pp. 30-38. doi:10.15802/stp2016/60947.
3. Belyayev N.N., Tsygankova S.G. Otsenka aeroionnogo rezhima v rabochikh zonakh na baze CFD modeli [Evaluation of air ion regime in work areas on the basis of CFD models]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu – Bulletin of the National Mining University*, 2015, no. 46, pp. 168-173.
4. Belyayev N.N., Tsygankova S.G. Raschet aeroionnogo rezhima v pomeshchenii i v rabochey zone na baze chislennoy modeli [Calculation of air ion regime in the premises and work area on the basis of a numerical model]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu – Bulletin of the National Mining University*, 2015, no. 47, pp. 137-143.
5. Hlyva V.A., Klapchenko V.I., Ponomarenko S.M. et al. Vyznachennia ta prohnouzuvannia dynamiky zminy aeroionnoho skladu povitria vyrobnychych prymishchen [Determination and prediction of the ionic air composition change dynamics in industrial premises]. *Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut». Seriya «Hirnyctvo»* [Bulletin of Ukrainian National Technical University «Kyiv Polytechnic Institute»], 2010, issue 19, pp. 161-168.
6. Tolkunov I.O., Maryniuk V.V., Popov I.I., Ponomar V.V. Deiaki aspekty zabezpechennia normatyvnoho aeroionnoho rezhymu robochoho seredovyshcha prymishchen spetsialnoho pryznachennia MNS Ukrainy [Some aspects of the regulatory ionic regime in working environment of the special purpose premises of the

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

- Ukrainian Ministry of Emergencies]. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii* [Problems of Emergencies], 2008, issue 8, pp. 198-206.
7. Zaporozhets O.I., Hlyva V.A. Sydorov, O.V. Normuvannia aeroionnoho skladu povitria robochykh prymishchen ta osnovni napriamy yoho vdoskonalennia [The standardization of the ionic air composition in work premises and main directions of its improvement]. *Visnyk natsionalnoho aviatsiinoho universytetu – Bulletin of National Aviation University*, 2011, no. 1, pp. 139-143.
 8. Zaporozhets O.I., Hlyva V.A. Sydorov, O.V. Pryntsypy modeliuvannia dynamiky aeroionnoho skladu povitria u prymishchenniakh [The principles of modeling the ionic air composition in premises]. *Visnyk natsionalnoho aviatsiinoho universytetu – Bulletin of National Aviation University*, 2011, no. 2, pp. 120-124.
 9. Levchenko L.O., Hlyva V.A. Sydorov, O.V. Tryvymirne modeliuvannia prostorovykh rozpodiliv kontsentratsii aeroioniv u povitri prymishchen [Three-dimensional modeling of spatial distributions for air ions concentrations in the air]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system – Managing the Development of Complex Systems*, 2012, no. 1, pp. 198-206.
 10. Bakhrushin V.Ye., Ignakhina M.A., Vertinskiy D.V., Yevsyukov A.Yu. Modelirovaniye raspredeleniya kontsentratsii ionov vblizi ionizatora [Simulation of distributing concentration of ions nearly ionizator]. *Skladni sistemy ta protsesy – Complex Systems and Processes*, 2002, no. 1, pp. 30-36.
 11. Tolkunov I.A. Bipoliarna ionizatsiia povitrianoho seredovyshcha prymishchen funktsionalnykh pidrozdiliv mobilnoho hospitaliu MNS [Bipolar ionization of air environment of functional units premises of the mobile hospital of the Ministry of Emergencies]. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii* [Problems of Emergencies], 2014, issue 14, pp. 161-170.
 12. Tolkunov I.O., Popov I.I. Modeliuvannia protsesiv formuvannia poliv kontsentratsii aeroioniv u povitriano mu seredovyshchi prymishchen spetsialnoho pryznachennia MNS Ukrainy [Simulation of the ions concentration fields formation in the air space of the special purpose premises of the Ukrainian Ministry of Emergencies]. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii* [Problems of Emergencies], 2010, issue 12, pp. 175-184.
 13. Tolkunov I.A., Popov I.I., Barbashin V.V. Teoreticheskoye issledovaniye protsessov perenosu aeroionov v potokakh vozdukh v pomeshcheniyakh spetsialnogo naznacheniya MChS Ukrainy [Theoretical study of the ions transport processes in the air flows in the special purpose premises of the Ukrainian Ministry of Emergencies]. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii* [Problems of Emergencies], 2010, issue 11, pp. 137-145.
 14. Mayya Y.S., Sapra B.K., Khan A., Sunny F. Aerosol removal by unipolar ionization in indoor environments. *Journal of Aerosol Science*, 2004, vol. 35, pp. 923-941. doi: 10.1016/j.jaerosci.2004.03.001.
 15. Fletcher L.A., Noakes C.J., Sleigh P.A. Air ion behavior in ventilated rooms. *Indoor and Built Environment*, 2008, vol. 17, no. 2, pp. 173-182. doi: 10.1177/1420326x08089622.
 16. Drexler P., Fiala P., Bartusek K. Numerical modeling of accuracy of air ion field measurement. *Journal of Electrical Engineering*, 2006, vol. 57, no. 8/S, pp. 62-65.
 17. Murakami S. Computational wind engineering. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1990, vol. 36, part 1, pp. 517-538. doi:10.1016/0167-6105(90)90335-A.
 18. Noakes C.J., Sleigh P.A., Beggs C. Modelling the air cleaning performance of negative air ionisers in ventilated room. Proc. of the 10th Intern. Conf. on Air Distribution in Rooms. Roomvent, 2007. Available at: http://eprints.whiterose.ac.uk/7700/1/Noakes_roomvent_07.pdf (Accessed 17 September 2015).
 19. Jurelionis A., Gagytė L., Prasauskas T., Čiužas D., Krugly E., Šeduikytė L., Martuzevičius D. The impact of the air distribution method in ventilated rooms on the aerosol particle dispersion and removal: The experimental approach. *Energy and Buildings*, 2015, vol. 86, pp. 305-313. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.10.014.

Prof. V. M. Derevyanko, D. Sc. (Tech); Prof. V. B. Petrenko, D. Sc. (Tech) recommended this article to be published

Received: Nov. 29, 2015

Accepted: Feb. 09, 2016

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 658.589

М. С. КРАВЧЕНКО^{1*}, Н. В. МАРЧЕНКО^{2*}

^{1*}Каф. «Економічна теорія і інтелектуальна власність», Приазовський державний технічний університет, ул. Университетская, 7, Мариуполь, Украина, 87500, тел. +38 (097) 641 67 99, эл. почта kravchenko.maryna@gmail.com, ORCID 0000-0003-2185-178X

^{2*}КТЦ, ОАО «Азовообщемаш», пл. Машиностроителей, 1, Мариуполь, Украина, 87535, тел. +38 (0629) 51 84 42, эл. почта nata-marchenko@mail.ua, ORCID 0000-0002-9217-4176

СТРАТЕГИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Цель. Успешной деятельностью крупных промышленных предприятий является хорошо продуманная стратегия управления инновационной деятельностью. Цель статьи – обозначить существующие проблемы управления стратегическим потенциалом на крупных промышленных предприятиях, его функционирование и формирование при адаптации к мировому рынку, и разработать механизм стратегии управления инновационной деятельностью, который можно применять на крупных промышленных предприятиях. Предполагается также провести системный анализ проблемы стратегии инновационной деятельности на крупных промышленных предприятиях (в основном в вагоностроительной отрасли). **Методика.** Главным фактором экономического роста любой страны являются инновации, которые внедряются на предприятия для повышения экономического роста. Теоретическую и методическую основу исследования составляет системный анализ проблемы стратегии инновационной деятельности на крупных промышленных предприятиях, особенно вагоностроительной отрасли, которая находится на данный момент в упадке и нуждается в реформировании. Правильно разработанная стратегия управления инновационной деятельностью позволит привести в равновесие внутреннюю и внешнюю среду предприятия, сравнить имеющийся потенциал на предприятии и, самое главное, обеспечит выживание в изменившихся условиях политической ситуации. **Результаты.** Авторами усовершенствован механизм стратегии инновационной деятельности на крупных промышленных предприятиях. Эффективная реализация стратегической инновационной деятельности промышленных предприятий может способствовать повышению конкурентоспособности не только некоторых промышленных предприятий, но и экономики Украины в целом. **Научная новизна.** Авторами приведено теоретическое обобщение и усовершенствование схемы механизма стратегии инновационной деятельности на крупных промышленных предприятиях по улучшению показателей интеллектуальной деятельности и повышению конкурентоспособности на рынке, а также возобновлению связей между ВУЗом, предприятием и научно-исследовательскими институтами. **Практическая значимость.** Рационально примененные меры по предложенной авторами схеме механизма стратегии инновационной деятельности на промышленных предприятиях позволят существенно улучшить показатели инновационной деятельности на крупных промышленных предприятиях, в том числе в вагоностроительной отрасли, и повысить конкурентоспособность на рынке.

Ключевые слова: стратегия инновационной деятельности; интеллектуальные инвестиции; инновационный потенциал; интеллектуальная деятельность; потенциал предприятия; творческий потенциал; инновационный продукт

Введение

Состояние промышленных предприятий Украины в настоящее время можно охарактеризовать как непрерывно изменчивое из-за наличия многих угроз как внутренней, так и внешней среды предприятия. Успешной деятельностью предприятия является хорошо продуманная стратегия управления. Хорошая стратегия управления позволит привести в равновесие внутреннюю и внешнюю среду предприятия так же сравнить тот потенциал, который имеется на предприятии.

Свой теоретический вклад в разработку стратегии инновационной деятельности промышленных предприятий внесли такие зарубежные ученые, как И. Ансоффа, М. Портер, А. Томсон, А. Чендлер и др. В российской экономической науке свой теоретический вклад в развитии стратегии внесли такие ученые, как А. Градова, Е. Кадышева, В. Маркова, Ф. Удалова, А. Яковлева и др. Также развивается украинская школа стратегии инновационной деятельности, в этот состав входят такие ученые, как А. В. Гриньов, Б. М. Данилишин, А. И. Яковлев и другие.

В работах этих ученых основным фактором формирования стратегического потенциала являются: человеческий капитал, затраты на инновационные разработки, финансирование и, последнее, производства. Эти четыре фактора считаются основными определяющими, которые формируют стратегический потенциал предприятия.

Цель

Обозначить существующие проблемы управления стратегическим потенциалом на промышленных предприятиях, как одной из форм инновационной деятельности предприятия, его функционирование и формирование при адаптации в мировой рынок и разработать механизм управления инновационной деятельностью.

Методика

Главным движущим фактором экономического роста любой страны являются интеллектуальные инновации, которые внедряются на предприятиях для стабилизации положения в экономике. Это вложение финансов в научно-

исследовательские разработки, покупку лицензий, патентов, обучение научных сотрудников. Главным признаком интеллектуального промышленного предприятия являются инновации и инвестиции, которые направлены на исследование и разработку. Если превышен объем инвестиций в основные фонды, то это характеризует предприятие как высокоинтеллектуальное [3, 4, 5, 6, 13, 15].

Все инновации требуют качественно подготовленных высококвалифицированных специалистов и без этого вложения невозможно получить новые идеи и их реализовать.

Инновации можно разделить на две группы – это инновационные продукты и инновационные процессы. К первой группе относят промышленные предприятия, где нужно расширить ассортимент выпускаемой продукции и повысить ее качество – это машиностроительные предприятия. Но активность здесь не такая уж и высокая в связи с долгим временем разработки нового продукта. И этот процесс приводит к увеличению срока окупаемости затрат в перспективе.

Ко второй группе относятся промышленные предприятия, которые обеспечивают снижение затрат – это металлургические предприятия. За счет внедрения инновационных процессов идет снижение материальных затрат и повышение производительности труда.

Поэтому для создания интеллектуальных инвестиций необходима поддержка всех мероприятий, направленных на инновационное производство. Учитывая тот фактор, что более трети работающего населения постоянно меняет место работы, предприятия теряют высококвалифицированных специалистов и некоторые из них вынуждены ликвидироваться.

Поэтому руководство предприятий должно заниматься сохранением высококвалифицированных сотрудников и способствовать повышению их уровня образования и квалификации.

Производство не может стоять на месте, поэтому интеллектуальные инвестиции являются очень выгодными для развития предприятия и конкурентоспособности на рынке. Финансовые вложения такого рода предприятий являются выгодными для любой экономики, которые стабилизируют ее развитие и влияют на внешний рынок государства.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Оценка объектов интеллектуальной собственности происходит при включении их в нематериальные активы и внесении в уставной капитал предприятия для постановки на баланс предприятия [1, 7, 10, 12].

Содержание инновационной деятельности и их направленность определяют экономическое развитие страны. В современных условиях развитие инновационной деятельности крупных промышленных предприятий является сложным как по внешним, так и по внутренним причинам [10, 14, 16].

Самым главным условием для успешной работы крупных промышленных предприятий является хорошо продуманная стратегия управления и развития данной инновационной деятельности на предприятии.

Правильно разработанная стратегия управления предприятия обеспечит самое главное выживание в изменяющихся условиях политической ситуации.

Проанализируем состояние инновационной деятельности в Украине за 2015 г. на примере отрасли вагоностроения. Прогнозы по сектору грузовых железнодорожных перевозок из-за слабых фундаментальных факторов негативны. В свое время в Россию экспортировалось из Украины примерно 85 % продукции и также примерно в 4 раза упали поставки в Европу.

В 2015 г. отрасль вагоностроения в Украине переживает сложный период, когда могут выжить только те заводы, которые умеют быстро адаптироваться. Пока только можно назвать ПАО «Крюковский вагоностроительный завод», который в 2014 г. снизил производство

грузовых вагонов на 54,7 % и смог реализовать 2,38 тыс. вагонов, а в 2015 г. (январь–октябрь) выпуск грузовых вагонов уменьшился на 84,9 % до 328 единиц [8].

Программа поддержки грузового вагоностроения должна быть направлена на производство инновационных вагонов и поиска путей новых рынков сбыта продукции.

Даже при огромном падении спроса на грузовые вагоны, инновационные вагоны все-таки пользуются спросом у операторов.

Но при создании инновационных вагонов нужно учитывать не только движение со скоростью до 100 км/ч с осевой нагрузкой 27 тс с учетом тормозного оборудования, а прежде всего увеличенный межремонтный пробег. При этом заниматься разработкой новых марок стали и сплавов увеличенной прочности для высоконагруженных литых деталей ходовых частей грузовых вагонов, так как за период с 2008–2014гг. количество изломов боковой рамы тележки грузового вагона увеличилась более чем в 4,5 раза. Также заниматься разработкой новых материалов для снижения массы тары, повышения грузоподъемности, уменьшения воздействия на путь, увеличения надежности деталей и узлов, а также улучшения других эксплуатационных характеристик грузовых вагонов. Ситуация может кардинально измениться если разработчики смогут добиться увеличения объема перевозимых новыми вагонами грузов на 15–20 % по сравнению с прежними. В этом случае потребуется обновление вагонного парка, а не замена старых вагонов, у которых истек срок службы (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение основных показателей работы вагонов старого и нового поколения

Table 1

Comparison of key indicators operation for cars of old and new generation

| Инновационный вагон Периодичность КР – 11 лет | Вагон старой конструкции Периодичность КР – 11 лет |
|---|---|
| Периодичность ДР, лет/тыс. км пробега: – после КР – 4/500; – после постройки – 4/500; – после ДР – 2/250 | Периодичность ДР, лет/тыс. км пробега: – после КР – 2/160; – после постройки – 3/210; – после ДР – 2/160 |
| Средняя частота отцепок в ТОР на 100 тыс. км – 0,39 | Средняя частота отцепок в ТОР на 100 тыс. км – 1,44 |

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Но анализируя сложившуюся ситуацию, необходимо рассматривать совокупные эффекты для всех участников рынка – потребителей грузовых вагонов, производителей и комплектующих грузовых вагонов. При реализации такого мероприятия следует рассматривать: воздействие на экономику, развитие конкурентоспособности, воздействие на бюджетную систему, воздействие на сферу перевозок грузов и социальные эффекты. Также осуществлять модернизацию вагонного парка без государственной поддержки является трудноразрешимой задачей. Но и в таком случае нужно думать о наращивании доли на других рынках сбыта. Иначе все может закончиться стагнацией производства, а в лучшем случае – вхождением украинских вагоностроительных предприятий в российские машиностроительные холдинги.

Тенденция падения производства грузовых вагонов на Украине в 2014 г. сохранилась (рис. 1) [2].

Так, если в I квартале 2013 г. спад производства грузовых вагонов составил 37 % по отношению к 2012 г., то за I и II квартал 2014 г. составил 79 %.

Спрос на грузовые вагоны либо есть, либо его нет. На сегодня вагонный парк грузовых вагонов испытывает переизбыток, поэтому соответственно и нет спроса на грузовые вагоны. Осуществлять модернизацию грузового вагонного парка без государственной поддержки является трудноразрешимой задачей.

Для машиностроительных предприятий Украины возможны три варианта. Первый вариант

– когда предприятие справляется с поставленными задачами самостоятельно. Второй вариант – когда внутри отрасли создается совместный фонд научно-технических разработок, где разработки предприятий используются и внедряются. И третий вариант – средства на инновационные продукты выделяет государство.

Исходя из выше сказанного, нынешнее экономическое положение промышленных предприятий Украины можно разделить на три группы. Первая группа – это предприятия, которые смогли приспособиться, и развиваться дальше в данной ситуации; вторая группа – те, которые смогли стабилизировать свое положение на рынке, а также финансовое; и третья – предприятия, которые имеют ресурсы, но не смогли ими правильно распорядиться и находятся на грани банкротства.

В Украине за последнее десятилетие инновационная активность промышленных предприятий является очень низкой, в то время как в других странах она гораздо выше. Если в Украине были внедрены инновации на 12 % предприятий, то в Германии на 70 % предприятий, которые используют инновационные технологии.

На данный момент поддержка государства инновационной деятельности промышленных предприятий остается на низком уровне, а экономическое развитие страны невозможно без перехода на инвестиционно-инновационную деятельность. Государственное финансирование является одним из главных факторов активизации инновационной деятельности.

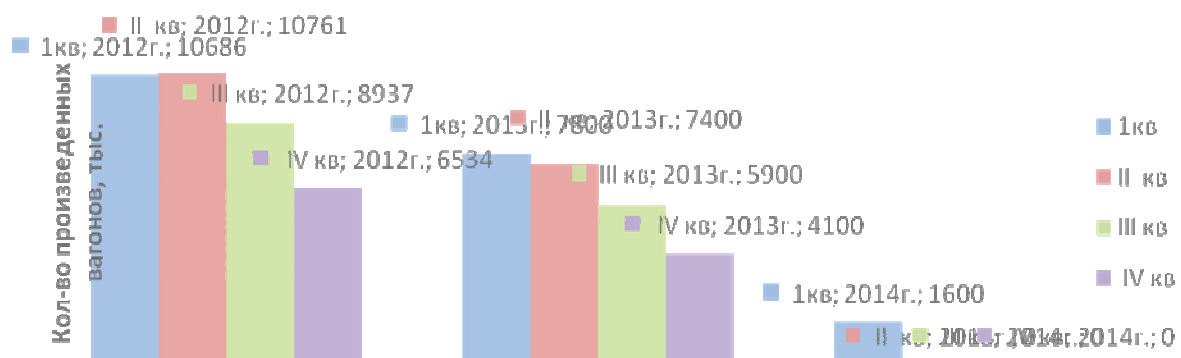


Рис. 1. Количество произведенных вагонов на Украине по кварталам за период 2012–2014 гг.

Fig. 1. The number of cars manufactured in Ukraine by quarters for the period 2012–2014 years

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Поэтому можно сделать заключение, что западная часть Украины, которая занимается инновационной деятельностью, в основном составляет сферу продуктовых инноваций, а центр и восток Украины – это в основном металлургические предприятия. Предприятия, которые занимаются инновациями, делают это за счет собственных средств. В Украине за 2014 г. инновационной деятельностью занималось 1 609 предприятий, а внедрили 1 208 предприятий. В 2014г. 1 206 предприятий использовали 7,7 млрд, грн. Из них 2/3 – приобретение оборудования, 15,9 % – на научно-исследовательские разработки, 10,1 % – на обучение и подготовку персонала. Внедрили 1 208 предприятий инновационный продукт, из них 137 предприятий внедрили новую продукцию для рынка и новую для предприятия [2].

Западные инновации, которые поступают в Украину, не способствуют повышению конкурентоспособности украинских предприятий на рынке. Развитие инновационной активности в Украине может быть только вместе с поддержкой государства и поддержанием научно-технической, кадровой, ресурсной, производственной и финансовой сферой.

Ученые Украины, которые занимаются проблемами инноваций, озабочены уровнем развития экономики Украины.

В 2014г. Украина занимала 49 место в рейтинге конкурентной способности, а в 2015 г. Украина заняла 60 место – это предпоследнее место в рейтинге конкурентоспособности стран швейцарского Института менеджмента и развития. Первое место занимает США, второе – Гонконг, третье Сингапур и четвертое – Швейцария. В первую десятку вошли страны: Канада, Люксембург, Норвегия, Дания, Швеция и Германия [11].

Такие показатели неудивительны, ведь в Украине низкий уровень инновационной активности, и такая ситуация объясняется трудностями перехода от административно-плановой экономики к рыночной, медленным реформированием в политике и непоследовательностью.

Мировой опыт доказал, что инновационная деятельность развивается там, где существуют государственные заказы на научные исследования и неразрывная связь между всеми участниками данного инновационного процесса.

Для эффективного функционирования украинской инновационной деятельности промышленным предприятиям необходимо разработать систему национальной инновационной стратегии. Стратегический потенциал для предприятия имеет большое значение. Разработанная стратегия является базой дальнейшей деятельности предприятия, определяет дальнейшее его развитие (рис. 2).

Основой стратегической деятельности промышленных предприятий являются такие аспекты, как ориентация на перспективу, потенциал предприятия и его резервный потенциал, который возник в процессе становления и развития предприятия и является его базовой основой для конкуренции на рынке, трансформация интеллектуальных ресурсов в инновационный продукт и возможность изменения во внешней среде. Но основой для эффективной реализации стратегической инновационной деятельности промышленных предприятий являются кадровый потенциал, возможность и поддержка для творческого подхода к выполнению поставленной задачи.

Более распространенными подходами являются: ресурсный, трудовой, производственный, финансовый, кредитный, инвестиционный, инновационный и маркетинговый, определение действенной амортизационной политики, система налогообложения субъектов хозяйственной деятельности, оценка и учет нематериальных активов, штрафные санкции за нарушение прав интеллектуальной собственности.

Но, из выше перечисленных, авторы считают, что более целесообразными на промышленных предприятиях являются кадровые ресурсы, промышленные, организационные, финансовые, инвестиционно-инновационные, маркетинговые. Инвестиционно-инновационные объединены вместе потому, что инновации требуют больших вложений инвестиций предприятия.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

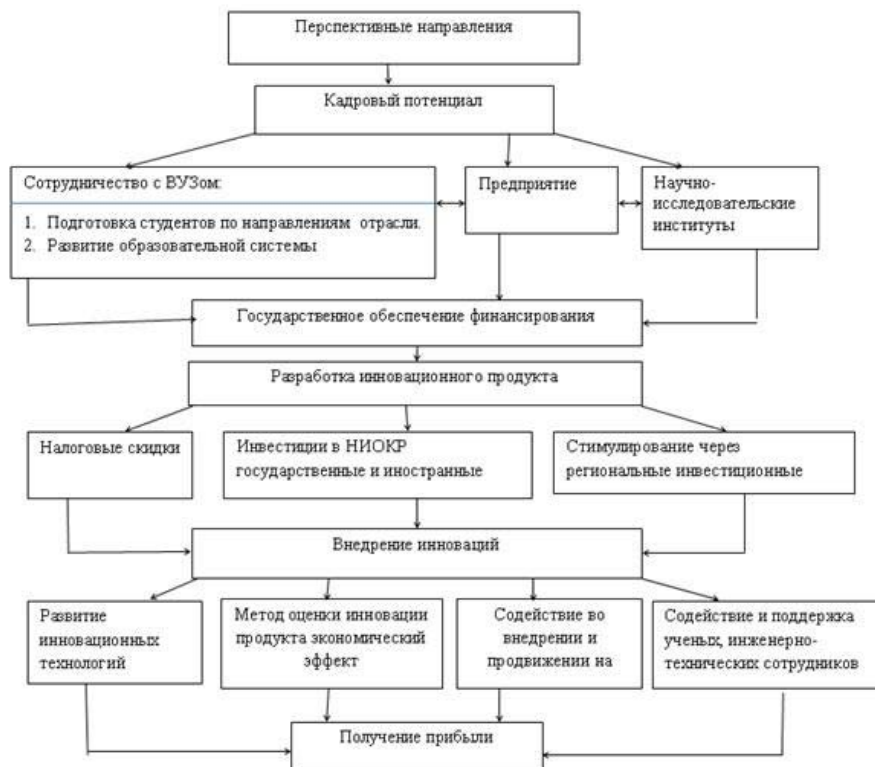


Рис. 2. Механизм стратегии инновационной деятельности (усовершенствовано авторами)

Fig. 2. Strategy mechanism of innovation activity (perfected by the authors)

Учитывая специфику управления персоналом, нужно предусмотреть комплекс мер, которые будут направлены на реализацию творческих и умственных способностей сотрудников во взаимодействии с ресурсами предприятия. Это отбор высококвалифицированных специалистов, мотивация творческой деятельности, организация системы повышения обучения персонала, деловая оценка персонала. То есть должны быть созданы все условия для поддержания и раскрытия творческих способностей сотрудников.

Творческий потенциал и результаты работы сотрудников получают в результате конкретно целенаправленных усилий всего творческого коллектива. Творческую деятельность и потенциал сотрудника можно определить по формуле, которая учитывает изобретательскую деятельность, публикации, участие в семинарах, конференциях, выставках, конкурсах и, самое

главное, выполнение поставленной темы работы.

$$\begin{aligned}
 Y_{m.a.p.} = & \sum \frac{\theta^t K_{y.mi} V_i^t}{V_{n.l.}} + \sum \frac{Q_j^t K_{y.pj} V_{en.j.}}{V_{en.n.l.}} + \\
 & + 3,0 L K_{y.lj} + 0,7 \sum q_k K_{y.kl} K_{v.k.} K_{o.k.} + \\
 & + 0,5 \sum q_6 K_{v.6.} K_{y.v.m.} K_{o.p.} + 1,5 I_{of} + 2,0 I_3 + \\
 & + 0,2 \sum P_{печ.} K_{v.p.} + 0,1 \sum D K_{з.к.},
 \end{aligned}$$

где $Y_{т.а.р.}$ – уровень творческой активности p -го специалиста; Q_t – количество тем, в которых принимал участие специалист; D – количество докладов, сделанных на конференциях и семинарах; $P_{печ.}$, I_3 , I_{of} – количество напечатанных работ, изобретений; L, q_k, q_6 – количество конкурсных работ и экспонатов на выста-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

вах, в которых принял участие специалист; $K_{y.m.i}, K_{y.l.j}, K_{y.l.1}, K_{y.v.m.}$ – коэффициенты важности напечатанных работ, конференций, конкурсов или выставок; V_i^t – объем работ в сметной стоимости по данной теме в текущем году; $\Sigma V_{n.l.}$ – общий объем работ научного предприятия или подразделения; $K_{з.к.}, K_{в.р.}, K_{в.к.}, K_{в.в.}$ – коэффициенты важности конференций, напечатанных работ, конкурсов или выставок; $K_{о.к.}, K_{о.р.}$ – коэффициенты оценки и награждений на конкурсах и выставках; Q_j^t – количество работ, подлежащих внедрению в текущем году; $K_{y.p.j}$ – коэффициент, характеризующий степень участия специалиста в j -й внедряемой работе; $V_{вн.j.}$ – объем j -й внедряемой работы в сметной стоимости; $\Sigma V_{вн.n.l.}$ – общий объем работ в научном предприятии [9, стр. 127].

На результаты труда научных сотрудников на крупных промышленных предприятиях влияет их трудовой стаж. При этом максимальная отдача наступает через 7–10 лет работы в данной области, то есть имеющиеся ресурсы и потенциальные возможности, которые находятся на предприятии и используются в его экономической деятельности с целью получения экономического эффекта.

Результаты

В результате работы доказана необходимость построения механизма стратегии инновационной деятельности промышленных предприятий, которая являлась бы эффективной при реализации стратегической инновационной деятельности промышленных предприятий и могла способствовать повышению конкурентоспособности не только некоторых промышленных предприятий, но и экономики Украины в целом.

Научная новизна и практическая значимость

Для эффективного функционирования промышленных предприятий необходима схема стратегии инновационной деятельности. В результате исследования авторами усовершенствована схема механизма стратегии инноваци-

онной деятельности, которая предусматривает связь между предприятием, ВУЗом и научно-исследовательскими институтами, а также дальнейшей разработкой и внедрением инновационного продукта, повышением конкурентоспособности на рынке.

Предложенная схема является основной базой для дальнейшей работы и развития промышленного предприятия в направлении стратегического плана. При этом нужно учитывать специфику управления персоналом, а также творческую деятельность и потенциал сотрудников, который можно определить по формуле, предложенной в результате исследования.

Выводы

Анализ работы вагоностроительных предприятий за последние годы показал, что усилилась конкуренция между вагоностроителями не только на внешнем, но и на внутреннем рынке грузовых вагонов.

Но отсутствие инвестиций в области научно-исследовательской работы, нового технологического оборудования усложняет противостояние вагоностроительных заводов Украины, предприятиям России, не говоря уже о Европейских странах в конкуренции за рынки сбыта данной продукции.

На данный момент ограничена возможность оказывать государственную поддержку в разработке, производстве и приобретения инновационных грузовых вагонов.

Однако производство не может стоять на месте, а, следовательно, инвестиции в инновационный продукт являются очень выгодными для развития промышленного предприятия, а также для экономики государства в целом. Это дает стабильность и развитие промышленного предприятия как на внешнем, так и на внутреннем рынке. Именно государственное финансирование инновационных продуктов является одним из главных факторов активизации инновационной деятельности на промышленных предприятиях.

Инновационная деятельность развивается именно в тех отраслях, где существуют государственные заказы на научные исследования, связь между разработчиками, производителями и потребителями. Каждое промышленное предприятие должно иметь свою разработанную

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

стратегию, которая будет являться базой для дальнейшей работы промышленного предприятия.

Эффективное использование стратегической инновационной деятельности промышленных предприятий дает возможность преобразованию всех видов ресурсов, которые имеет предприятие, для повышения результативности функционирования и обеспечение конкурентоспособности. Перспективы дальнейших исследований целесообразно рассматривать методологические подходы к оценке стратегии инновационной деятельности потенциала предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анисимова, О. Н. Проблемы оценки интеллектуального потенциала промышленных предприятий / О. Н. Анисимова // Бизнес Информ. – 2012. – № 6. – С. 124–127.
2. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ukrstat.gov.ua>. – Загл. с экрана. – Проверено : 26.01.2016.
3. Дьякова, М. С. Проблеми впровадження інтелектуальних інвестицій на підприємствах промислової галузі / М. С. Дьякова, Н. В. Марченко // Законодавство України у сфері інтелектуал. власності та його правозастосування: націон., європ. та міжнар. виміри : матер. III Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених та студентів з проблем інтелектуал. власності (18.09.2015) / Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. – Київ, 2015. – С. 142–149.
4. Дьякова, М. С. Трансформація раціоналізаторського пропозиції в інноваційний продукт / М. С. Дьякова, Н. В. Марченко // Вісн. Приазов. держ. техн. ун-ту. Серія: Економічні науки. – Маріуполь, 2015. – № 29. – С. 413–420.
5. Жогова, И. В. Стратегия развития интеллектуального потенциала предприятия как фактор его экономического роста / И. В. Жогова // Проблемы и перспективы развития сотрудничества между странами Юго-Восточной Европы в рамках Черномор. эконом. сотрудничества и ГУАМ : сб. науч. тр. / Дон. нац. ун-т. – Донецк, 2011. – С. 268–273.
6. Инновационная экономика : монография / Л. Н. Ивин, В. М. Куклин, А. С. Захарченков [и др.] ; под ред. Л. Л. ТОВАЖНЯНСКОГО. – Харьков : Едена, 2010. – 716 с.
7. Исакова, Н. Б. Предприятия Украины: инновационная деятельность и сетевые взаимодействия / Н. Б. Исакова ; под ред. В. П. Соловьева. – Киев : Информ. аналит. агентство, 2012. – 377 с.
8. КВСЗ за 10 місяців уменшив випуск грузових вагонів на 85 % [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://www.rbc.ua/rus/tag-kvsz_22032015. – Загл. с экрана. – Проверено : 26.01.2016.
9. Пузыня, К. Ф. Экономическая эффективность научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок в машиностроении / К. Ф. Пузыня, А. С. Запаснюк. – Ленинград : Машиностроение, 1978. – 304 с.
10. Селезнев, Е. Н. Оценка эффективности использования интеллектуального капитала [Електронний ресурс] / Е. Н. Селезнев // Финансовый менеджмент. – 2005. – № 6. – Режим доступа: <http://www.dis.ru/library/fm/archive/2005/6/3840.html>. – Загл. с экрана. – Проверено : 26.01.2016.
11. Украина опустилась на предпоследнее место в рейтинге конкурентоспособности [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kievpravda.com/news/5513>. – Загл. с экрана. – Проверено : 26.01.2016.
12. Федонін, О. С. Потенціал підприємства: формування та оцінка : навч. посіб. / О. С. Федонін, І. М. Репіна, О. І. Олексюк. – Київ : КНЕУ, 2004. – 316 с.
13. Logutova, T. In Problems in intellectual innovations in the engineering industry / T. Logutova, M. Dyakova, N. Marchenko // Теорет. та практ. аспекти економіки та інтелект. власності : зб. наук. пр. – Маріуполь, 2015. – Вип. 1 (11). – С. 8–15.
14. Mathieu, G. Railway Reforms in Europe / G. Mathieu // The Reform of UK Railways – Privatization and Its Results. – Japan Railway & Transport Review. – 2012. – № 34. – P. 16–31.
15. Myamlin, S. V. Upgrading of economic simulation methods for increasing efficiency of investments / S. V. Myamlin, K. V. Zhyzhko // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 6 (54). – С. 34–41. doi: 10.15802/stp2014/32656.
16. Stachowiak, Z. Teoria i praktyka mechanizmu bezpieczeństwa ekonomicznego państwa : ujęcie instytucjonalne / Z. Stachowiak. – Warszawa : Wydawnictwo Akademii Obrony Narodowej, 2012. – 406 p.

М. С. КРАВЧЕНКО^{1*}, Н. В. МАРЧЕНКО^{2*}

^{1*}Каф. «Економічна теорія та інтелектуальна власність», Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87500, тел. +38 (097) 641 67 99, ел. пошта kravchenko.maryna@gmail.com, ORCID 0000-0003-2185-178X

^{2*}КТЦ, БАТ «Азовзагальмаш», пл. Машинобудівників, 1, Маріуполь, Україна, 87535, тел. +38 (0629) 51 84 42, ел.пошта nata-marchenko@mail.ua, ORCID 0000-0002-9217-4176

СТРАТЕГІЯ ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Мета. Успішною діяльністю великих промислових підприємств є добре продумана стратегія управління інноваційною діяльністю. Мета статті – позначити існуючі проблеми управління стратегічним потенціалом на великих промислових підприємствах, його функціонування та формування при адаптації до світового ринку, і розробити механізм стратегії управління інноваційною діяльністю, який можна застосовувати на великих промислових підприємствах. Передбачається також провести системний аналіз проблеми стратегії інноваційної діяльності на великих промислових підприємствах (в основному в вагонобудівній галузі). **Методика.** Головним фактором економічного зростання будь-якої країни є інновації, які впроваджуються на підприємстві для підвищення економічного зростання. Теоретичну і методичну основу дослідження становить системний аналіз проблеми стратегії інноваційної діяльності на великих промислових підприємствах, особливо у вагонобудівній галузі, яка знаходиться на даний момент у занепаді і потребує реформування. Правильно розроблена стратегія управління інноваційною діяльністю дозволить привести в рівновагу внутрішню та зовнішню середу підприємства, також порівняти потенціал підприємства і, найголовніше, забезпечити виживання в умовах зміни політичної ситуації. **Результати.** Авторами удосконалено механізм стратегії інноваційної діяльності на великих промислових підприємствах. Ефективна реалізація стратегічної інноваційної діяльності промислових підприємств може сприяти підвищенню конкурентоспроможності не тільки деяких промислових підприємств, а й економіки України в цілому. **Наукова новизна.** Авторами наведено теоретичне узагальнення та вдосконалення схеми механізму стратегії інноваційної діяльності на великих промислових підприємствах із поліпшення показників інтелектуальної діяльності та підвищення конкурентоспроможності на ринку, а також відновлення зв'язків між ВУЗом, підприємством і науково-дослідними інститутами. **Практична значимість.** Раціонально застосовані заходи по запропонованій авторами схемі механізму стратегії інноваційної діяльності на промислових підприємствах дозволять істотно поліпшити показники інноваційної діяльності на великих промислових підприємствах, у тому числі у вагонобудівній галузі, та підвищити конкурентоспроможність на ринку.

Ключові слова: стратегія інноваційної діяльності; інтелектуальні інвестиції; інноваційний потенціал; інтелектуальна діяльність; потенціал підприємства; творчий потенціал; інноваційний продукт

M. S. KRAVCHENKO^{1*}, N. V. MARCHENKO^{2*}

¹Dep. «Economic Theory and Intellectual Property», Pryasovsk State Technical University, Universytetska St., 7, Mariupol, Ukraine, 87500, tel. +38 (097) 641 67 99, e-mail kravchenko.maryna@gmail.com, ORCID 0000-0003-2185-178X

²DTC, OJSC «Azovobshchymash», Mashinostroiteley Sq., 1, Mariupol, Ukraine, 87535, tel. +38 (0629) 51 84 42, e-mail nata-marchenko@mail.ua, ORCID 0000-0002-9217-4176

STRATEGY OF INNOVATIVE ACTIVITY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Purpose. Successful activity of the large-scale industrial enterprises is carefully thought out strategy of management by innovative activity. Object of the article – to designate the existent problems of management by strategic potential at the large-scale industrial enterprises, their functioning and forming during adaptation in a world market and to work out the mechanism of strategy of management of innovative activity that can be applied at large-scale industrial enterprises; as well as to carry out a systematic analysis of the problem activity at the large-scale industrial enterprises mainly in the carriage-building branch. **Methodology.** The main factor of economic growth of any country is the innovations that are implemented at the enterprise to improve economic growth. Theoretical and methodo-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

logical basis of research is systematic analysis of the strategy problem of innovative activity at the large-scale industrial enterprises, especially of the carriage-building branch, which is at the present moment on the decline and in need of reform. Rightly developed strategy of management of innovative activity will allow to balance the internal and external environment of the enterprise, as well as to compare the existing capacities at the enterprise, and the most importantly, will ensure survival in a changed political situation. **Findings.** The authors improved mechanism of the strategy of innovative activity at the large-scale industrial enterprises. Effective implementation of the strategic innovative activity of the industrial enterprises can enhance the competitiveness of not only some industrial enterprises but also the economy of Ukraine in general. **Originality.** The authors gave theoretical generalization and improved scheme of a mechanism of strategy of innovative activity at the large-scale industrial enterprises on improvement of indicators of intellectual activity and competitiveness in the market, as well as the resumption of communication between higher education institutions and research Institutes. **Practical value.** Rationally applied measures on the proposed by the author's diagram of a strategy mechanism of innovative activity at the industrial enterprises will significantly improve the measures of innovation at the large-scale industrial enterprises, including the carriage-building branch, and to increase the competitiveness in the market.

Keywords: strategy of innovative activity; intellectual investment; innovation potential; intellectual activity; enterprise potential; creative potential; innovative product

REFERENCES

1. Anisimova O.N. Problemy otsenki intellektualnogo potentsiala promyshlennykh predpriyatiy [Problems of evaluation of the intelligent potential of industrial enterprises]. *Biznes Inform – Business Inform*, 2012, no. 6, pp. 124-127.
2. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy* (State statistics service of Ukraine). Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua> (Accessed 26 January 2016).
3. Diakova M.S., Marchenko N.V. Problemy vprovadzhennia intelektualnykh investytsii na pidpriemstvakh promyslovoi haluzi [The problems of implementation of intellectual investments at the enterprises of industrial branch]. *Materialy III Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv z problem intelektualnoi vlasnosti «Zakonodavstvo Ukrainy u sferi intelektualnoi vlasnosti ta yoho pravozastosuvannya: natsionnalni, yevropeiski ta mizhnarodni vymiry»* [Proc. of the III All-Ukrainian Sci. and Pract. Conf. the young scientists and students on the problems of intellectual property «Legislation of Ukraine in the field of intellectual property and its administration: national, European and international measurements»]. Kyiv, 2015, pp. 142-149.
4. Dyakova M.S., Marchenko N.V. Transformatsiya ratsionalizatorskogo predlozheniya v innovatsionnyy produkt [The transformation of an innovation proposal into the innovative product]. *Visnyk priazovskoho derzhavnogo tekhnichnogo universytetu. Seriya: Ekonomichni nauky* [Bulletin of Priazovsk State Technical University. Series: Economic science], 2015, no. 29, pp. 413-420.
5. Zhogova I.V. Strategiya razvitiya intellektualnogo potentsiala predpriyatiya kak faktor yego ekonomicheskogo rosta [Strategy of development of intellectual potential of enterprise as a factor of its economic growth]. *Problemy i perspektivy razvitiya sotrudnichestva mezhdru stranami Yugo-Vostochnoy Yevropy v ramkakh chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva i GUAM* [Problems and prospects of cooperation development between the countries of South-Eastern Europe within the context of Black sea economic cooperation and GUAM], 2011, pp. 268-273.
6. Ivin L., Kuklin V.M., Zakharchenkov A.S. Tovazhnyanskiy L.L. *Innovatsionnaya ekonomika* [Innovative economy]. Kharkov, Yedena Publ., 2010. 716 p.
7. Isakova N.B. *Predpriyatiya Ukrainy: innovatsionnaya deyatel'nost i setevyye vzaimodeystviya* [Enterprises of Ukraine: innovation activity and networking]. Kyiv, Informatsionnoye analiticheskoye agentstvo Publ., 2012. 377 p.
8. *KVSZ za 10 mesyatsev umenshil vypusk gruzovykh vagonov na 85%* (Kryukovsky Railway Car Building Works for 10 months has reduced the production of freight cars by 85%). Available at: https://www.rbc.ua/rus/tag/kvsz_22032015 (Accessed 26 January 2016).
9. Puzynya K.F., Zapasnyuk A.S. *Ekonomicheskaya effektivnost nauchno-issledovatel'skikh i opytno-konstruktor'skikh razrabotok v mashinostroyenii* [Economic efficiency of research and development and design and experimental working in machine-building]. Leningrad, Mashinostroyeniye Publ., 1978. 304 p.
10. Seleznev Ye.N. Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya intellektualnogo kapitala (Evaluation of the use efficiency of intellectual capital). *Finansovyy menedzhment – Financial Management*, 2005, no. 6. Available at: <http://www.dis.ru/library/fm/archive/2005/6/3840.html> (Accessed 26 January 2016).

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

11. *Ukraina opustilas na predposledneye mesto v reytinge konkurentosposobnosti* (Ukraine dropped to the penultimate place in the ranking of competitiveness). Available at: <http://www.kievpravda.com/news/5513> (Accessed 26 January 2016).
12. Fedonin O.S., Riepina I.M., Oleksiuk O.I. *Potentsial pidpriemstva: formuvannia ta otsinka* [Enterprise potential: development and evaluation]. Kyiv, KNEU Publ., 2004. 316 p.
13. Logutova T.G., Dyakova M.S., Marchenko N.V. Problems in intellectual innovations in the engineering industry. *Teoretychni ta praktychni aspekty ekonomiky ta intelektualnoi vlasnosti* [Theoretical and practical aspects of the economy and intellectual property], 2015, issue 1 (11), vol. 1, pp. 8-15.
14. Mathieu, G. Railway Reforms in Europe. The Reform of UK Railways – Privatization and Its Results. *Japan Railway & Transport Review*, 2012, no. 34, pp. 16-31.
15. Myamlin S.V., Zhyzhko K.V. Upgrading of economic simulation methods for increasing efficiency of investments. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 6, pp. 34-41. doi: 10.15802/stp2014/32656.
16. Stachowiak Z. *Teoria i praktyka mechanizmu bezpieczenstwa ekonomicznego panstwa*. Warszawa, Wydawnictwo Akademii Obrony Narodowe Publ., 2012. 406 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. М. Бубновым (Украина); д.т.н., проф. Ю. С. Бараином (Украина)

Поступила в редколлегию 12.11.2015

Принята к печати 15.02.2016

УДК 368.021

Л. В. МАРЦЕНЮК^{1*}, О. В. ЧОРНОВІЛ^{2*}, К. В. БІЛА^{3*}, А. О. УДОВИЧЕНКО^{4*},
АНУП КУМАР ШАРМА^{5*}^{1*}Каф. «Економіка та менеджмент», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (093) 934 18 03, ел. пошта gwinform1@rambler.ru, ORCID 0000-0003-4121-8826^{2*}Каф. «Облік, аудит та інтелектуальна власність», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 363 19 17, ел. пошта lena.chernovol@mail.ru, ORCID 0000-0003-4803-427X^{3*}Каф. «Фінанси та економічна безпека», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (063) 85 858 72, ел. пошта honey5689@mail.ru, ORCID 0000-0002-0574-2324^{4*}Каф. «Фінанси та економічна безпека», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (099) 171 18 00, ел. пошта anuau@ukr.net, ORCID 0000-0003-1283-294X^{5*}Каф. «Архітектура і ландшафтний дизайн», Університет Шри Мата Вайшно, Катра, область Джамму й Кашмір, Індія, 182320, тел. +91 (901) 890 37 78, ел. пошта anoop.sharma@smvdu.ac.in, ORCID 0000-0002-7218-7252СТРАХОВИЙ РИНОК УКРАЇНИ:
СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ

Мета. Страховий ринок України дотепер є цікавим для закордонних інвесторів. Однак існує ряд негативних факторів. Це: 1) відсутність досконалої нормативно-правової бази, доступності та прозорості страхового ринку для населення; 2) низька прибутковість окремих видів страхування; 3) нижча конкурентоздатність страхових компаній, ніж комерційних банків у боротьбі за залучення вільних коштів юридичних і фізичних осіб; 4) недостатній рівень державного регулювання та контролю не дають змоги страховому ринку ефективно розвиватись. Тому метою статті є проведення аналізу, виявлення причин, що гальмують розвиток страхової діяльності в Україні, а також визначення напрямків розвитку страхового ринку. **Методика.** Для досягнення поставленої мети в статті було визначено загальну кількість страхових компаній, складено рейтинг за валовими платежами найбільш крупних із них, представлено динаміку чистих страхових виплат за основними видами страхування. Даний аналіз дозволяє окреслити проблемні питання та напрямки діяльності страхового ринку. **Результати.** На основі проведеного в статті аналізу виявлено ряд гальмівних факторів у розвитку страхування в Україні та першочергові напрямки поліпшення ситуації, що склалася на страховому ринку. Встановлено, що головними задачами розвитку страхування залишаються: 1) реформування законодавчої бази; 2) підвищення конкурентоспроможності, рівня інвестиційної привабливості страхових компаній; 3) розвиток сучасної інфраструктури страхового ринку; 4) розширення спектру послуг та доведення їх рівня до міжнародних стандартів; 5) підвищення кваліфікації кадрів; 6) удосконалення ліцензування страхової діяльності; 7) підвищення культури та рівня довіри населення. При цьому підвищення рівня платоспроможності населення, стабілізація економіко-політичної ситуації в країні сприятимуть стабілізації та інтенсивному розвитку ринку страхових послуг. **Наукова новизна.** В статті вперше розроблено науковий підхід щодо визначення системи факторів, яким мусить відповідати сучасний ринок страхових послуг. **Практична значимість.** Вирішення представлених проблем шляхом запропонованих авторами заходів дозволить успішно розвиватись страховому ринку, який, в свою чергу, сприятиме стабілізації національної економіки, оскільки є невід'ємним її сегментом.

Ключові слова: страхування; страховик; страховий ринок; страхові послуги; страхові виплати; страховий портфель; страховий захист

Вступ

Страховий ринок є невід'ємною складовою фінансового ринку країни, і досить чутлива до проблем будь-яких його сегментів. Одночасно

він тісно пов'язаний з виробничою сферою і рівнем добробуту населення.

Отже, важливою проблемою є підвищення ефективності функціонування страхового ринку в умовах соціально орієнтованої економіки і концепції сталого розвитку [6, с. 82].

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Мета

Метою статті є оцінка стану страхового ринку України, виявлення причин, що гальмують його розвиток, а також напрямів розвитку ринку страхових послуг.

Методика

Одним із найважливіших секторів національної економіки є фінансовий. В ньому формуються та розподіляються фінансові ресурси та послуги.

Фінансовий ринок забезпечує підприємствам необхідні умови для накопичення та розподілу інвестиційних ресурсів і надання фінансових послуг, а також залучення потрібних коштів і продажу тимчасово вільних ресурсів. Стабільний розвиток виробничої сфери спонукає страхові компанії до використання закумульованих ресурсів для довгострокових виробничих капіталовкладень, через ринок цінних паперів. Це дає страховикам певну перевагу над банками, оскільки останні здебільшого спираються на коротко- та середньострокові залучення коштів. Добробут населення можна розділити на матеріальний і нематеріальний, та лише синтез цих понять має прямий вплив на активність страхових компаній. Суттєвими аспектами розвитку страхового ринку є досконала законодавча база, створення принципово нових конкурентоспроможних продуктів, зниження ціни на страхові послуги шляхом структурування страхових тарифів, а також підвищення страхової обізнаності та культури населення. Потужний негативний вплив зовнішньоринкового характеру має дуже велика кількість страхових компаній з кадрами низької кваліфікації, що знижує довіру населення, підприємств та інвесторів до страхових послуг в цілому, а також заважає становленню повноцінного страхового ринку. Підвищення ролі та стабільний розвиток вітчизняного ринку страхування має бути одним із найдієвіших факторів розвитку національної економіки, економічної безпеки країни, залучення іноземних інвестицій. Створення сприятливого страхового клімату в Україні дозволило б зацікавити іноземних інвесторів в розширенні існуючого бізнесу та відкритті нового. Однак, із ситуацією, що склалась на сьогоднішній день, це неможливо.

Аналізуючи тенденції розвитку нашої економіки, маємо невтішний висновок: будь-яка галузь потребує глобальних змін, перетворень та реформ. В умовах сьогодення найважливішим є формування портфелю інструментів, що буде спрямований на збільшення рівня конкурентоспроможності страхових підприємств та надання конкурентних послуг не лише на внутрішньому, а й зовнішньому ринках. Саме тому аналіз сучасного стану страхового ринку України, вивчення чинників, які обмежують його розвиток, та виявлення перспектив подальшого розвитку є актуальними в сучасних умовах.

Проблемам та тенденціям розвитку страхового ринку присвячено багато праць, як вітчизняних, так і закордонних вчених. Вагомий внесок у виявленні теоретичних основ та особливостей функціонування страхового ринку України зробили такі вітчизняні вчені як С. С. Осадець [8], Л. В. Временко [2], О. В. Вірбулевська [1], В. В. Железняк, І. Г. Аберніхіна [4], Л. А. Шило [11], В. А. Горб, В. В. Смолянська [3], О. В. Козьменко [6]. Порушували питання ризиків страхових портфелів вітчизняних страхових компаній О. С. Журавка [5], Н. В. Соловей [9]. Питаннями функціонування вітчизняного й закордонних фінансових ринків та питаннями пристосування вітчизняного страхування до міжнародних стандартів займалися О. В. Кот, В. О. Пірштук [7], Р. М. Ходько [11]. Детально висвітлював та класифікував негативні чинники, що уповільнюють розвиток страхового ринку України, генеральний директор «Асоціації страховальників України» Л. Хорін [12]. Закордонні науковці [14; 15; 16] також широко займаються питаннями страхового ринку, його безпеки, проблемами та перспективами розвитку.

Результати

Деякі елементи страхування були відомі ще до нашої ери. Ще в ті часи люди дійшли о висновку про доцільність страхування не лише в разі перевезення вантажів, а й у багатьох сферах свого життя та діяльності [13, с. 240]. Світова практика не виробила більш економічного, раціонального і доступного способу захисту економічних інтересів підприємств як страхування. Поряд з іншими інстру-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ментами регулювання ринкових взаємовідносин, страхування покликане забезпечити стабільність виробництва і споживання [3, с. 299]. Страховий ринок поєднує в собі дві категорії, з одного боку – це специфічна сфера грошових відносин, об'єктом якої є купівля-продаж страхової послуги, тобто «вторинної послуги», попит на яку багато в чому залежить від стану «первинного ринку» товарів і послуг [4, с. 76]; з іншого боку, страховий ринок – це складна інтегрована система страхових та перестрахових організацій, які в сукупності здійснюють страхову діяльність.

Як відомо, діяльність страховиків ґрунтується на захисті майнових прав й інтересів населення та підприємств, шляхом відшкодування збитків в разі настання страхового випадку, тим самим звільняючи бюджет держави від цього тягаря.

Ринок страхових послуг залишається найбільш капіталізованим серед інших небанківських фінансових ринків. Загальна кількість страхових компаній станом на 30.06.2015 року становила 374, в тому числі страхові компанії

«life» – 52, страхові компанії «non-life» – 322, (станом на 30.06.2014 року – 400 компаній, у тому числі страхові компанії «life» – 58, страхові компанії «non-life» – 342). Кількість страхових компаній має тенденцію зменшуватися, так за I півріччя 2015 року порівняно з аналогічним періодом 2014 року, кількість компаній зменшилася на 26 [10].

Стримуючим чинником діяльності українського страхового ринку є те, що він знаходиться у досить суперечливій та складній ситуації. Це є очевидним, адже питання капіталізації і стратегії розвитку своєчасно не були вирішені акціонерами страхових компаній. Минулий рік став найбільш незадовільним з точки зору нагляду та відношення держави до страхового ринку, що було пов'язане з реорганізацією Національної комісії з регулювання ринків фінансових послуг й відсутністю стратегії розвитку на цьому ринку.

Рейтинг страхових компаній України за таким показником, як валові платежі у 2015 році представлений в табл. 1 [10].

Таблиця 1

Рейтинг страхових компаній України за валовими платежами у 2015 році, млн грн

Table 1

Rating of insurance companies in Ukraine on gross payments in 2015 year, mln hrn

| Компанія | Всього премій | В тому числі | | | |
|---------------------------------|---------------|----------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------|
| | | Особисте страхування | Майнове страхування | Страхування відповідальності | Обов'язкове страхування |
| ВАТ «СК «АХА СТРАХУВАННЯ» | 595,9 | 30,0 | 468,5 | 9,7 | 87,7 |
| ПрАТ «УАСК «АСКА» | 535,5 | 64,8 | 257,1 | 105,6 | 108,0 |
| ЗАТ «ПРОВІДНА» | 484,9 | 116,2 | 187,4 | 7,9 | 173,4 |
| ПрАТ «СК «УНІКА» | 458,9 | 70,4 | 262,6 | 4,8 | 120,9 |
| ЗАТ «СК» КРЕМЕНЬ» | 446,7 | 33,9 | 396,5 | 5,1 | 11,2 |
| ВАТ НАСК «ОРАНТА» | 443,5 | 28,3 | 136,9 | 3,9 | 274,4 |
| ПрАТ «СК «ІНГО УКРАЇНА» | 378,9 | 74,5 | 222,4 | 23,8 | 58,2 |
| ЗАТ «УКРАЇНСЬКА СТРАХОВА ГРУПА» | 323,9 | 14,5 | 265,9 | 6,7 | 36,8 |
| ПрАТ «СК «АРСЕНАЛ» | 322,3 | 100,8 | 194,4 | 4,9 | 22,1 |
| ПрАТ «СК «АЛЬФА» | 307,5 | 154,3 | 127,9 | 10,2 | 15,1 |

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Аналізуючи рейтинг страхових компаній України за валовими платежами у 2015 році, як лідера можна виділити страхову компанію «АХА Страхування», яка за загальною кількістю премій посідає перше місце – 595,9 млн грн. Рівень майнового страхування у компанії-лідера складає 468,5 млн грн, що є найвищим показником серед усіх інших компаній та характеризує компанію як надійну та стабільну. Але, якщо аналізувати цю компанію за іншими показниками, то за деякими видами страхування, таких як особисте страхування, що складає 30 млн грн, компанія помітно відстає від інших, але це не заважає їй очолювати рейтинг компаній. Останнє ж місце в рейтингу займає ПрАТ «СК «АЛЬФА», загальний показник премій якої складає 307,5 млн грн, що на 288,4 млн грн менше, ніж у «АХА Страхування». Незважаючи на низький порівняно з іншими компаніями рівень валових премій, ПрАТ «СК «АЛЬФА» має переваги в інших сферах страхування, таких як особисте та майнове страхування, показники яких складають 154,3 та 127,9 млн грн відповідно. Таким чином із складеного рейтингу страхових компаній, можна зробити висновок, що не обов'язково компанія, яка посідає перше місце в рейтингу є лідером за всіма видами страхування. Все залежить від конкретно обраного виду страхування та його показника по кожній з компаній.

За весь період функціонування страхового ринку України у його страховому портфелі переважають види страхування з високим рівнем ризику, оскільки вони приносять великі доходи, але такий страховий портфель не здатний забезпечити фінансову стійкість страховій компанії [5, с. 202]. Страховий ризик є найбільшою причиною неплатоспроможності. Проте, неплатоспроможність також пояснюється недостатнім резервуванням з боку страховика та неадекватною преміальною базою, що виникає внаслідок неправильної оцінки ризику [9, с. 260]. Основним видом страхування у страховому портфелі вітчизняних страховиків є автострахування (КАСКО). В останні роки спостерігається підвищення частки автострахування над майновим та іншими видами. Це свідчить про незбалансованість страхових портфелів вітчизняних страховиків. В контексті цього

доцільним є аналіз страхових портфелів страхових компаній України – лідерів за страховими виплатами та платежами.

Динаміку чистих страхових виплат по основних видах страхування за I півріччя 2014 року та I півріччя 2015 року наведено в табл. 3 [10].

Аналізуючи динаміку чистих страхових виплат за основними видами страхування за I півріччя з 2014 року та I півріччя 2015 року, можна сказати, що відбулося зростання автострахування (КАСКО, ОСЦПВ, «Зелена картка») на 161,7 млн грн у 2015 році, або на 12,2 %. Також спостерігається зростання чистих виплат, пов'язаних з підвищенням страхових виплат зі страхування життя на 192,7 млн грн, або на (214,8 %), а також збільшилися виплати зі страхування економічних ризиків на 180,1 млн грн, або на 3 052,5 %.

Дослідження фінансового стану на страховому ринку України в I півріччі 2015 року порівняно з аналогічним попереднім періодом, дає можливість зробити такі висновки:

Аналізуючи страхування майна, можна побачити істотне збільшення показників з 145,0 до 64,2 млн грн, тобто на 80,8 млн грн, або на 125,9 %.

Якщо порівняти з I півріччям попереднього 2014 року, розмір чистих страхових виплат зі страхування медичних витрат зріс на 22,3 млн грн (42,6 %).

На 2,9 млн грн (6,0 %) зменшився розмір виплат зі страхування кредитів, що пов'язано з втратою довіри до банків.

Страхування від вогневих ризиків та ризиків стихійних явищ протягом 2014–2015 років зменшилось на 30,1 млн грн, або на 49,5 %.

Інші види страхування протягом аналізованого періоду зменшились з 146,9 до 138,5 млн грн, або на 8,4 млн грн (5,7 %).

Виходячи з аналізу чистих страхових виплат, можна помітити, що найбільше виплат здійснюється за такими видами страхування, як автострахування, страхування фінансових ризиків, страхування майна та страхування життя.

Це пов'язано з тим, що наведені вище види страхування є найбільш ризиковими та мають високий рівень настання страхового випадку, тому і виплати по них є найбільшими серед наведених у табл. 2 [10].

Таблиця 2

Динаміка чистих страхових виплат за основними видами страхування за I півріччя 2014–2015 рр.

Table 2

Dynamics of net indemnifications upon the main types of insurance in H1, 2014–2015 years

| Види страхування | I півріччя 2014, млн грн | I півріччя 2015, млн грн | Темпи приросту I півріччя 2015/ I півріччя 2014 | |
|--|-----------------------------|-----------------------------|--|---------|
| | | | млн. грн | % |
| Автострахування (КАСКО, ОСЦПВ, «Зелена картка») | 1 329,6 | 1 491,3 | 161,7 | 12,2 |
| Медичне страхування (безперервне страхування здоров'я) | 559,5 | 591,8 | 32,3 | 5,8 |
| Страхування життя | 89,7 | 282,4 | 192,7 | 214,8 |
| Страхування фінансових ризиків | 5,9 | 186,0 | 180,1 | 3 152,5 |
| Страхування майна | 64,2 | 145,0 | 80,8 | 125,9 |
| Страхування медичних витрат | 52,3 | 74,6 | 22,3 | 42,6 |
| Страхування кредитів | 48,0 | 45,1 | -2,9 | -6,0 |
| Страхування від вогневих ризиків та ризиків стихійних явищ | 60,8 | 30,7 | -30,1 | -49,5 |
| Інші види страхування | 146,9 | 138,5 | -8,4 | -5,7 |
| Всього | 2 356,9 | 2 985,4 | 628,5 | 26,7 |

Суттєвим показником розвитку страхового ринку також є кількість укладених договорів.

Виходячи з даних табл. 3 [10], можна помітити, що протягом аналізованого періоду кількість договорів збільшилась на 27 937 тис. одиниць, що у відсотковому співвідношенні складає 43,3 %. Також спостерігається зростання кількості договорів з добровільного страхуван-

ня на 33 346,9 тис. одиниць (або на 273,7 %), включаючи договори страхування від вогневих ризиків та ризиків стихійних явищ, що зросли на 13 096,4 тис. одиниць (або на 1 058,1 %); договори, пов'язані зі страхування майна збільшились на 12 916,6 тис. одиниць (або на 879,6 %), а також зросла кількість договорів страхування від нещасних випадків, вони зросли на 3 376,7 тис. одиниць (або на 67,1 %).

Таблиця 3

Кількість договорів страхування, укладених протягом звітного періоду, тис. од.

Table 3

Number of insurance contracts concluded during the reporting period, thousand units

| Показник | I півр. 2014 р. | I півр. 2015 р. | Темпи росту |
|---|-----------------|-----------------|-------------|
| Кількість договорів, крім договорів з обов'язкового страхування від нещасних випадків на транспорті, у т. ч | 17 192,1 | 50 316,6 | +192,7 % |
| – зі страховальниками – фізичними особами | 15 444,8 | 48 935,8 | +216,8 % |
| Кількість договорів з обов'язкового особистого страхування від нещасних випадків на транспорті | 47 371,4 | 42 183,9 | -11,0 % |

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

В 2004 році генеральний директор «Асоціації страхувальників України» Леонід Хорін у своїй праці «Страховання: інституціональна риторика на фоні системного хаосу», назвав ряд негативних чинників, що уповільнюють розвиток страхового ринку. Він їх класифікував таким чином:

1. Економічні чинники:

- низький платоспроможний попит (фізичних та юридичних осіб) на страхові послуги;
- невеликі обсяги і недосконала структура капіталу страхових компаній;
- відсутність і нерозвиненість надійних інвестиційних інструментів для довгострокового розміщення страхових резервів.

2. Організаційно-правові чинники:

- відсутність цілеспрямованої державної політики у сфері страхування, що призводить до безсистемного розвитку вітчизняного страхового ринку;
- недосконалість нормативно-правової бази, що регламентує розвиток страхової галузі;
- надмірна кількість законодавчо визначених видів обов'язкового страхування і неадекватність їхнього фінансового забезпечення;
- недостатній рівень державного регулювання і контролю за страховим ринком, непослідовність дій стосовно організації державного нагляду за страховою діяльністю;
- протекціонізм і галузевий монополізм.

3. Функціональні чинники:

- низька прибутковість окремих видів страхування;
- нижча конкурентоздатність страхових компаній порівняно з комерційними банками в боротьбі за залучення вільних коштів юридичних і фізичних осіб;
- відсутність середньо та довгострокового планування страховими компаніями своєї діяльності;
- низький рівень кваліфікації кадрів;
- порушення діючого законодавства;
- зростання випадків страхового шахрайства.

4. Інформаційно-аналітичні чинники:

- значна інформаційна закритість страхового ринку, низький рівень впровадження в страхову практику сучасних інформаційних технологій;

- відсутність якісної статистичної інформації і недостатність докладних інформаційно-аналітичних матеріалів про стан і проблеми формування страхового ринку;

- недосконалість фінансової звітності та методів обробки даних;

- відсутність у банків даних про несумлінних страхувальників;

- погано організована рекламна діяльність на вітчизняному страховому ринку;

- непрозорість даних про структуру власності вітчизняного страхового ринку.

5. Соціально-психологічні проблеми:

- відсутність довіри населення і господарюючих суб'єктів до страхових компаній [12].

Наукова новизна та практична значимість

В статті вперше розроблено науковий підхід щодо визначення системи факторів, яким мусять відповідати сучасний ринок страхових послуг.

З огляду на перелічені проблеми та виконаний аналіз, однозначно можна стверджувати, що дотепер вони залишаються незмінними.

Окреслені уповільнюючі розвиток страхового ринку чинники дозволяють сформулювати напрямки їх подолання. Основні з них такі:

- здійснення реформ у законодавчій базі для подальшого розвитку страхової діяльності (чітке регламентування організаційно-економічних питань розвитку страхування, методології проведення медичного страхування);

- залучення іноземного капіталу, однак обережно, оскільки при великому його напливі держава може втратити контроль над акумульованими коштами;

- удосконалення ліцензування діяльності страхових компаній;

- підвищення кваліфікації кадрів шляхом відкриття власних центрів, а також виділення коштів на наукові дослідження у страховій сфері;

- використання позитивного досвіду та врахування тенденцій розвитку закордонних страхових ринків;

- підвищення довіри населення до страховиків за рахунок створення доступної та прозорої системи страхування;

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

– створення нових конкурентоспроможних продуктів із адекватною ціною на них завдяки створенню умов для розвитку інфраструктури страхового ринку;

– створення єдиного реєстру страхових агентів, що дасть можливість мінімізувати кримінальні схеми на ринку страхування;

– забезпечення підвищення рівня страхової культури населення через засоби масової інформації та створення спеціальних програм у вищих навчальних закладах.

Висновки

За результатами виконаного дослідження поняття страхового ринку, аналізу кількості страхових компаній, складеного рейтингу за валовими платежами та аналізу динаміки чистих страхових виплат за основними видами страхування, а також виявлених стримуючих чинників розвитку страхового ринку, можна зробити висновки:

1. Страховий ринок є невід'ємною частиною фінансового ринку і являє собою складну багаторівневу систему, чутливу до змін, особливо зовнішнього характеру.

2. Оскільки продуктом діяльності страхових компаній є страхова послуга, як товар, то необхідно забезпечити попит та пропозицію шляхом формування оптимального балансу між вартістю послуги та здатністю фізичних та юридичних осіб купувати їх.

3. На цьому етапі розвитку страховий ринок України опинився у ще більш скрутному становищі, ніж був декілька років тому. Анексія Криму та бойові дії на Сході країни потягли за собою скорочення ринку, втрату договорів, зниження бізнес-активності, через що зменшились страхові потоки.

4. Однак позитивні тенденції розвитку страхового ринку України присутні. Хоча кількість страхових компаній дещо зменшилась, проте спостерігається позитивна динаміка чистих страхових виплат за основними видами страхування. Їх розмір збільшився з 2 356,9 млн. грн у 1 півріччі 2014 року до 2 985,4 млн. грн у 1 півріччі 2015 року, тобто на 26,7 %. Також спостерігається збільшення кількості укладених договорів.

5. Страховий ринок України дотепер є цікавим для закордонних інвесторів. Однак

відсутність досконалої нормативно-правової бази, доступності та прозорості страхового ринку для населення, низька прибутковість окремих видів страхування, нижча конкурентоздатність страхових компаній ніж комерційних банків в боротьбі за залучення вільних коштів юридичних і фізичних осіб, недостатній рівень державного регулювання та контролю не дають змоги страховому ринку ефективно розвиватись.

6. Усунення цих недоліків дозволить сформувати розвинений ринок страхових послуг, тим самим сприятиме розвитку фінансового ринку, національної економіки та економічної безпеки держави.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вірбулевська, О. В. Проблеми та перспективи розвитку страхового ринку регіонів України / О. В. Вірбулевська // Вісн. Кременчуцького нац. ун-ту імені Михайла Остроградського. – Кременчук, 2006. – № 5 (40), ч. 1. – С. 143–145.
2. Временко, Л. В. Теоретичні аспекти формування страхового портфеля страховика / Л. В. Временко, Ю. В. Подзолкова // Економічна наука XXI століття: реалії та перспективи : зб. наук. пр. з актуальн. проблем економ. наук : у 2 ч. / Наук. організація «Перспектива». – Дніпропетровськ, 2013. – Ч. 2. – 248 с.
3. Горб, В. А. Еволюція поняття страхування / В. А. Горб, В. В. Смолянська // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 38. – С. 299–305.
4. Железняк, В. В. Методи та підходи оцінки рівня розвитку регіонального страхового ринку / В. В. Железняк, І. Г. Аберніхіна // Проблеми економіки транспорту : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 6. – С. 76–82.
5. Журавка, О. С. Теоретичні основи формування страхового портфеля / О. С. Журавка // Бізнес Інформ. – 2012. – № 5. – С. 201–204.
6. Козьменко, О. В. Страховий ринок України у контексті сталого розвитку : монографія / О. В. Козьменко. – Суми : ДВНЗ «УАБС НБУ», 2008. – 350 с.
7. Кот, О. В. Особливості функціонування міжнародного та вітчизняного ринку страхування / О. В. Кот, В. О. Пірштук // Економічна наука XXI століття: реалії та перспективи : зб. наук. пр. з актуальн. проблем економ. наук :

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

- у 2 ч. / Наук. організація «Перспектива». – Дніпропетровськ, 2013. – Ч. 2. – 248 с.
8. Осадець, С. С. Страхування : підручник / С. С. Осадець – Київ : КНЕУ, 2002. – 599 с.
 9. Соловей, Н. В. Фінансова безпека на ринку авіаційного страхування / Н. В. Соловей // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 18. – С. 260–261.
 10. Фориншурер страхование : офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://forinsurer.com/>. – Назва з екрана. – Перевірено : 24.03.2016.
 11. Ходько, Р. М. Вітчизняне страхування рухається до світових стандартів / Р. М. Ходько // Галицькі контракти. – 2009. – № 2. – С. 21–24.
 12. Хорін, Л. Страхування: інституціональна риторика на фоні системного хаосу [Електронний ресурс] / Л. Хорін // Фінансовий ринок України. – 2004. – № 6–7. – Режим доступу : http://www.ufin.com.ua/analit_mat/strah_rynok/066.htm. – Назва з екрана. – Перевірено : 24.03.2016.
 13. Шило, Л. А. Страхування вантажів як вид майнового страхування / Л. А. Шило // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 10. – С. 223–226.
 14. Demirgüç-Kunt, A. Deposit insurance around the world: A comprehensive analysis and database / A. Demirgüç-Kunt, E. Kane, L. Laeven // J. of Financial Stability. – 2015. – Vol. 20. – P. 155–183. doi:10.1016/j.jfs.2015.08.005.
 15. Kanno, M. The network structure and systemic risk in the global non-life insurance market / M. Kanno // Insurance: Mathematics and Economics. – 2016. – Vol. 67. – P. 38–53. – doi: 10.1016/j.insmatheco.2015.12.004.
 16. Prikazyuk, N. Security of the Insurance Market of Ukraine and the Determining Factors / T. Motashko, N. Prikazyuk, // 22nd Intern. Economic Conf. of Sibiu 2015, IECS 2015 «Economic Prospects in the Context of Growing Global and Regional Interdependencies». – 2015. – Vol. 27. – P. 288–310. doi: 10.1016/S2212-5671(15)01001-1.

Л. В. МАРЦЕНЮК^{1*}, Е. В. ЧОРНОВОЛ^{2*}, Е. В. БЕЛАЯ^{3*}, А. А. УДОВИЧЕНКО^{4*},
АНУП КУМАР ШАРМА^{5*}

^{1*}Каф. «Економика и менеджмент», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (093) 934 18 03, эл. почта gwinform1@rambler.ru, ORCID 0000-0003-4121-8826

^{2*}Каф. «Учет, аудит и интеллектуальная собственность», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 363 19 17, эл. почта lena.chernovol@mail.ru, ORCID 0000-0003-4803-427X

^{3*}Каф. «Финансы и экономическая безопасность», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (063) 85 858 72, эл. почта honey5689@mail.ru, ORCID 0000-0002-0574-2324

^{4*}Каф. «Финансы и экономическая безопасность», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (099) 171 18 00, эл. почта anuai@ukr.net, ORCID 0000-0003-1283-294X

^{5*}Каф. «Архитектура и ландшафтный дизайн», Университет Шри Мата Вайшно, Катра, область Джамму й Кашмир, Индия, 182320, тел. +91 (901) 890 37 78, эл. почта anoor.sharma@smvdu.ac.in, ORCID 0000-0002-7218-7252

СТРАХОВОЙ РЫНОК УКРАИНЫ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ

Цель. Страховой рынок Украины до сих пор интересен для иностранных инвесторов. Однако существует ряд негативных факторов. Это: 1) отсутствие совершенной нормативно-правовой базы, доступности и прозрачности страхового рынка для населения; 2) низкая доходность отдельных видов страхования; 3) низкая конкурентоспособность страховых компаний, в сравнении с коммерческими банками, в борьбе за привлечение свободных средств юридических и физических лиц; 4) недостаточный уровень государственного регулирования и контроля не позволяют страховому рынку эффективно развиваться. Поэтому целью статьи является проведение анализа, выявление причин, тормозящих развитие страховой деятельности в Украине, а также определение направлений развития страхового рынка. **Методика.** Для достижения поставленной цели в статье было определено общее количество страховых компаний, составлен рейтинг по валовым платежам наиболее крупных из них, представлена динамика чистых страховых выплат по основ-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ным видам страхования. Данный анализ позволяет определить проблемные вопросы и направления деятельности страхового рынка. **Результаты.** На основе проведенного в статье анализа выявлен ряд тормозящих факторов в развитии страхования в Украине и первоочередные направления улучшения ситуации на страховом рынке. Установлено, что главными задачами развития страхования являются: 1) реформирование законодательной базы; 2) повышение конкурентоспособности, уровня инвестиционной привлекательности страховых компаний; 3) развитие современной инфраструктуры страхового рынка; 4) расширение спектра услуг и доведение их уровня до международных стандартов; 5) повышение квалификации кадров; 6) совершенствование лицензирования страховой деятельности; 7) повышение культуры и уровня доверия населения. При этом повышение уровня платежеспособности населения, стабилизация экономико-политической ситуации в стране будут способствовать стабилизации и интенсивному развитию рынка страховых услуг. **Научная новизна.** В статье впервые разработан научный подход к определению системы факторов, которым должен соответствовать современный рынок страховых услуг. **Практическая значимость.** Решение представленных проблем с помощью предложенных авторами мероприятий позволит успешно развиваться страховому рынку. А это, в свою очередь, будет способствовать стабилизации национальной экономики, поскольку страховой рынок является неотъемлемым ее сегментом.

Ключевые слова: страхование; страховщик; страховой рынок; страховые услуги; страховые выплаты; страховой портфель; страховая защита

L. V. MARTSENIUK^{1*}, O. V. CHORNOVIL^{3*}, K. V. BELAYA^{4*}, A. O. UDOVYCHENKO^{2*},
ANOOP KUMAR SHARMA^{5*}

^{1*}Dep. «Economics and Management», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, тел. +38 (093) 934 18 03, e-mail rwinform1@rambler.ru, ORCID 0000-0003-4121-8826

^{2*}Dep. «Accounting, Audit and Intellectual Property», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, тел. +38 (050) 363 19 17, e-mail lena.chernovol@mail.ru, ORCID 0000-0003-4803-427X

^{3*}Dep. «Finance and Economic Security», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, тел. +38 (063) 85 858 72, e-mail honey5689@mail.ru, ORCID 0000-0002-0574-2324

^{4*}Dep. «Finance and Economic Security», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, тел. +38 (099) 171 18 00, e-mail anyau@ukr.net, ORCID 0000-0003-1283-294X

^{5*}Dep. «Architecture and Landscape Design», Shri Mata Vaishno Devi University, Katra, Jammu and Kashmir, India, 182320, tel. +91 (901) 890 37 78, e-mail anoop.sharma@smvdu.ac.in, ORCID 0000-0002-7218-7252

INSURANCE MARKET OF UKRAINE: MODERN STATE AND PROBLEMS OF DEVELOPMENT

Purpose. The insurance market of Ukraine is still interesting for foreign investors. However, there is a range of negative factors. They are: 1) the old regulatory framework, public access and transparency of the insurance market for population; 2) low profitability of certain types of insurance; 3) low competitiveness of the insurance companies in comparison with commercial banks in attraction drive of free funds of legal entities and individuals; 4) insufficient state regulation and control does not allow the insurance market to develop effectively. Therefore, the purpose of the article is to analyze and identify the causes that hinder the development of insurance business in Ukraine, as well as to determine the directions of insurance market development. **Methodology.** To achieve this purpose the article determines the total number of insurance companies, composes the gross payment rating of the largest of them, presents the dynamics of net insurance premiums for basic insurance. This analysis allows you to identify problematic issues and activities of the insurance market. **Findings.** The analysis of the article revealed a number of factors that prevent successful development of insurance in Ukraine. The authors suggest priority areas for improving the situation in the insurance market. It was found that the main tasks of the development of insurance are: 1) legal framework reform; 2) improving competitiveness, investment attractiveness of the insurance companies; 3) development of modern infrastructure of the insurance market; 4) expanding the range of services and their compliance with international standards; 5) personnel development; 6) improvement of insurance activity licensing; 7) building of culture and public trust. At the same time the increase in the population solvency, economic and political stability in the country will contribute to the stabilization and intensive development of the insurance market.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Originality. The article firstly developed a scientific approach to the determination of the system of factors, which the modern insurance market should correspond to. **Practical value.** The solution of the presented problems with the help of the measures proposed by the authors will help the insurance market to develop successfully. And this, in its turn, will contribute to the stabilization of the national economy, because the insurance market is its integral segment.

Keywords: insurance; insurer; the insurance market; insurance services; insurance payments; insurance portfolio; insurance cover

REFERENCE

1. Virbulevska O.V. Problemy ta perspektyvy rozvytku strakhovoho rynku rehioniv Ukrainy [Problems and prospects of the insurance market development in regions of Ukraine]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho* [Bulletin of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University], 2006, issue 5 (40), p. 143-145.
2. Vremenko L.V., Podzolkova Yu.V. Teoretychni aspekty formuvannia strakhovoho portfelia strakhovyya [Theoretical aspects of the insurance portfolio of the insurer]. *Zbirnyk naukovykh prats z aktualnykh problem ekonomichnykh nauk «Ekonomichna nauka XXI stolittia: realii ta perspektyvy»* [Proc. on actual problems of economic sciences «Economic science of XXIst century: Realities and Prospects»], Dnipropetrovsk, 2013, part 2. 248 p.
3. Horb V.A., Smolianska V.V. Evoliutsiia poniattia strakhuvannia [Evolution of insurance definition]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2011, issue 38, pp. 299-305.
4. Zhelezniak V.V., Abernikhina I.H. Metody ta pidkhody otsinky rinvnia rozvytku rehionalnoho strakhovoho rynku [Methods and approaches to assess the level of development of the regional insurance market]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana «Problemy ekonomiky transportu»* [Proc. of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan «Problems of the Transport Economics»], 2013, issue 6, pp. 76-82.
5. Zhuravka O.S. Teoretychni osnovy formuvannia strakhovoho portfelia [Theoretical foundations of insurance portfolio]. *Biznes Inform – Business Inform*, 2012, issue 5, pp. 201-204.
6. Kozmenko O.V. Strakhovyi rynek Ukrainy u konteksti staloho rozvytku [The insurance market of Ukraine in the context of sustainable development]. Sumy, DVNZ «UABS NBU» Publ., 2008. 350 p.
7. Kot O.V., Pirshtuk V.O. Osoblyvosti funktsionuvannia mizhnarodnoho ta vitchyznianoho rynku strakhuvannia [Features of the international and domestic insurance market]. *Zbirnyk naukovykh prats z aktualnykh problem ekonomichnykh nauk «Ekonomichna nauka XXI stolittia: realii ta perspektyvy»* [Proc. on actual problems of economic sciences «Economic science of XXIst century: Realities and Prospects»], Dnipropetrovsk, 2013, part 2. 248 p.
8. Osadets S.S. *Strakhuvannia* [Insurance]. Kyiv, KNEU Publ., 2002. 599 p.
9. Solovei N.V. Finansova bezpeka na rynku aviatsiinoho strakhuvannia [Financial security in the aviation insurance market]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2007, issue 18, pp. 260-261.
10. *Forinsurer strakhovanyiye: ofitsiyni sait* (Forinsurer insurance: The official site). Available at: <http://forinsurer.com/> (Accessed 24 March 2016).
11. Khodko R.M. Vitchyzniane strakhuvannia rukhaietsia do svitovykh standartiv [The domestic insurance is moving to global standards]. *Halytski kontrakty – Galician Contracts*, 2009, issue 2, pp. 21-24.
12. Khorin L. Strakhuvannia: instytutsionalna rytoryka na foni systemnoho khaosu (Insurance: institutional rhetoric against the background of systemic chaos). *Finansovyy rynek Ukrainy – The financial Market of Ukraine*, 2004, issue 6-7. Available at: http://www.ufin.com.ua/analit_mat/strah_rynok/066.htm (Accessed 24 March 2016).
13. Shylo L.A. Strakhuvannia vantazhiv yak vyd mainovoho strakhuvannia [Cargo insurance as a kind of property insurance]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2006, issue 10, pp. 223-226.
14. Demirgüç-Kunt A., Kane E., Laeven L. Deposit insurance around the world: A comprehensive analysis and database. *Journal of Financial Stability*, 2015, vol. 20, pp. 155-183. doi:10.1016/j.jfs.2015.08.005.
15. Kanno M. The network structure and systemic risk in the global non-life insurance market. *Insurance: Mathematics and Economics*, 2016, vol. 67, pp. 38-53. doi: 10.1016/j.insmatheco.2015.12.004.

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

16. Prikazyuk, N., Motashko T. Security of the Insurance Market of Ukraine and the Determining Factors. 22nd Intern. Economic Conf. of Sibiu 2015, IECS 2015 «Economic Prospects in the Context of Growing Global and Regional Interdependencies», 2015, vol. 27, pp. 288-310. doi: 10.1016/S2212-5671(15)01001-1.

Стаття рекомендована до публікації д.е.н., проф. Ю. С. Барашем (Україна); д.е.н., проф. Г. Д. Ейтутісом (Україна)

Надійшла до редколегії: 05.01.2016

Прийнята до друку: 01.04.2016

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.22:656.212.5

С. І. МУЗИКІНА¹, М. І. МУЗИКІН^{2*}, Г. І. НЕСТЕРЕНКО³

¹Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 082 88 27, ел. пошта fufei@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5832-6949

^{2*}Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (095) 251 53 14, ел. пошта grafmim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061

³Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70, ел. пошта galinamuzuikina@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1629-0201

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

Мета. Наукова робота має за мету вибір раціональних технологічних параметрів організації процесу перевезень, які дозволили б практично реалізувати рух вантажних поїздів із найбільш ефективним розподілом поїздопотоків. Розглядається також зниження показника простою вагонів внаслідок збільшення швидкості доставки вантажів та пошук шляхів збільшення пропускної спроможності сортувальної станції. **Методика.** Наведені технічні та експлуатаційні характеристики сортувальних станцій Європи та України. В якості методів дослідження прийнятий аналіз роботи станції, аналіз прямування вагонопотоків, аналіз графіка виконаного руху поїздів, натурних листів форми ДУ-1 по прибуттю та відправленню поїздів. Розроблені схеми для розрахунків пропускної спроможності горловин, переробної спроможності сортувальної гірки, допустимих рівнів завантаження системи. **Результати.** За висновками дослідження розрахована пропускна (переробна) спроможність основних елементів станції. Добове завантаження сортувальної гірки та витяжних колій істотно змінюється по варіантам та градаціям розмірів руху. Це впливає на простой составів та, в цілому, на величину критерію, згідно якого буде обиратися оптимальне технічне оснащення, оптимальна взаємодія в роботі підсистем та колійний розвиток станції. Цей критерій повинен враховувати витрати на технічне устаткування, спорудження колій, локомотиви, а також відповідні експлуатаційні витрати у всіх варіантах. Таким чином, вибір оптимальної взаємодії повинен встановлювати економічно доцільний рівень експлуатаційної надійності роботи підсистем, їх технічну та колійну потужність. **Наукова новизна.** Збільшуючи продуктивність роботи каналу відправлення поїздів, сортувальної гірки та витяжних колій, можливо інтенсифікувати процеси обробки поїздів та зменшити простой вагонів. Інтенсифікація технологічних процесів на сортувальних станціях забезпечує зменшення обороту вагонів, скорочення простоїв та високу економічну ефективність капітальних вкладень. У дослідженні розглянуті питання, пов'язані з підвищенням ефективності функціонування сортувальних станцій в умовах реформування залізничного транспорту. **Практична значимість.** Використання методів визначення раціональної пропускної (переробної) спроможності сортувальних станцій, для розподілу поїздопотоків між ними, дає можливість покращити якісні показники роботи сортувальних станцій.

Ключові слова: вагонопотік; сортувальна станція; об'єм переробки; пропускна спроможність; горловина; переробна спроможність

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Вступ

Сортувальні станції – це складні комплекси елементів, які технологічно взаємопов'язані між собою. Ці елементи повністю відповідають достатнім та необхідним умовам, які дозволяють інтерпретувати їх з точки зору системотехніки як складні технологічні системи, елементи яких знаходяться в постійній функціональній взаємодії. Крім того, сортувальні станції працюють з неоднорідним по структурі та з нерівномірним у часі навантаженням, в зв'язку з чим взаємозв'язки між цими елементами мають, у визначених межах, стохастичний характер. Роботу сортувальних станцій досліджували вчені В. М. Акулінічев, Т. В. Бутько, Н. Н. Шабалін, І. Б. Сотніков, К. К. Таль, П. С. Грунтов, А. М. Макарович та ін. [1–14].

Актуальністю дослідження є розробка і впровадження методів визначення раціональної пропускної (переробної) спроможності сортувальних станцій, для розподілу поїздопотоків між ними, що забезпечить покращення якісних показників роботи залізничного транспорту.

Мета

Метою дослідження є вибір раціональних технологічних параметрів організації процесу перевезень, які дозволили б практично реалізувати рух вантажних поїздів з найбільш ефективним розподілом поїздопотоків, зниження показника простою вагонів внаслідок збільшення швидкості доставки вантажів.

Об'єктом дослідження є процес пропуску вантажного поїздопотоків по сортувальній станції Х.

Предметом дослідження є параметри вантажного поїздопотоків (транзитні без переробки та з переробкою) сортувальної станції Х.

Завданням дослідження є вибір оптимального варіанта організації вагонопотоків при перевезенні вантажу по сортувальній станції Х, внаслідок чого досягається зменшення часу простою. Як методи дослідження прийняті аналіз роботи станції, аналіз направлення вагонопотоків, аналіз графіка виконаного руху поїздів, натурних листів форми ДУ-1 по прибутті та відправленні поїздів.

Фактичною значимістю дослідження є використання отриманих результатів в удосконаленні технології перевезення вантажів за

рахунок раціонального розподілу поїздопотоків між основними сортувальними станціями.

Структурою роботи є аналіз системи організації роботи з пропуску поїздопотоків по сортувальній станції Х, пропонування розподілу поїздопотоків між сортувальними станціями відповідно до методів визначення пропускної (переробної) спроможності сортувальних станцій.

Методика

Залізничний транспорт України по загальній довжині шляхів (23 тис. км) займає четверте місце в світі (після США, Росії, Канади). По вантажообігу він виконує основні обсяги перевезень – 40–50 % від країн ЄС (навіть у рік найбільшого спаду 1997 р. – понад 40 %). Перевіз-на робота, здійснювана на залізницях України, в шість разів більше обсягу, виконуваного залізницями країн ЄС. [13,14]

Проаналізувавши показники (табл. 1), можна зробити висновок, що Україна за площею становить 13,8 % площі країн ЄС, має протяжність залізничних ліній 22 300 км, що становить 16 % від протяжності всіх залізничних ліній Європи. Густота залізниць України нижче ніж густота залізниць ЄС, при цьому 43,7 % залізниць України електрофіковано, тоді як в ЄС електрифіковано лише 14,5 % залізничних ліній. За даними таблиці видно, що розгорнута довжина залізничних ліній зазначених європейських країн перевищує існуючу в Україні в 4,2 разу, тоді як рівень перевезень вантажів на одного жителя в Україні в 3,3 разу вище їх сумарного значення по країнах ЄС. Це говорить про більш високу вантажонапруженість та інтенсивність на залізницях України порівняно з європейськими.

У зв'язку з тим, що вантажообіг залізниць України в 6 разів більше, ніж вантажообіг країн ЄС, це робить Україну однією з провідних залізниць країн Європи незважаючи на те, що по технічному розвитку вона поступається країнам ЄС. З вище сказаного можна зробити висновок про високий потенціал для подальшого розвитку сортувальних станцій і, в разі сприятливої державної політики, високі перспективи інвестицій в цю галузь. Реформування залізничної галузі України, яке відбувається сьогодні, свідчить про перспективи її розвитку.

Таблиця 1

Порівняльні показники залізниць України та Європи

Table 1

Comparative figures of railways in Ukraine and Europe

| № з/п | Найменування | Україна | ЄС |
|-------|--|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Площа | 603 628 км ² | 4 324 782 км ² |
| 2 | Електрифікація залізниць | 9 752 км | 24 369 км |
| 3 | Протяжність залізничних ліній | 22 300 км | 139 228 км |
| 4 | Густота залізниць | 35,93 км на 1 000 км ² | 177,4 км на 1 000 км ² |
| 5 | Вантажообіг | 246,3 млрд т-км | 40 млрд т-км |
| 6 | Експлуатаційна довжина залізниць | 18 845 км | 3 639 123 км |
| 7 | Кількість сортувальних станцій | 42 | 80 |
| 8 | Густота розміщення мережі сортувальних станцій | 10,2 км на 1 000 км ² | 17,84 км на 1 000 км ² |
| 9 | Площа сортувальних станцій | 7,2 тис. м ² | 12,8 тис. м ² |
| 10 | Потужність гірок | Від малої до підвищеної потужності | Від малої до підвищеної потужності |
| 11 | Переробна спроможність | 5 500 ваг/доб | 3 500 ваг/доб |
| 12 | Кількість сортувальних колій | 24–34 | 54–84 |
| 13 | Довжина сортувальних колій | 750–1 200 м | 1 050–2 100 м |

Проаналізувавши сортувальні станції України та ЄС [13, 14], можна зробити наступні висновки: на території Європи розміщено 80 сортувальних станцій, а на території України – 42 сортувальні станції, площа сортувальних станцій 7,2 тис. м², а площа сортувальних станцій в ЄС в 1,5 разу більша. Густота розміщення сортувальних станцій в Україні по відношенню до протяжності залізничних ліній менш щільна і становить 10,2 км на 1 000 км. Переробна здатність гірок, згідно зі статистичними даними, на 60 % більше, ніж на сортувальних станціях ЄС, при тому що кількість сортувальних колій і їх довжина на порядок вище саме в ЄС.

Розвиток міжнародного залізничного сполучення ускладнюється наявністю надмірної кількості зупинок на сортувальних станціях. Робота цих сортувальних станцій пов'язана зі значними витратами на обладнання і персонал. Створення сортувальних станцій повинно базу-

ватися на найбільш ефективній експлуатації європейських залізниць. Їх слід розташовувати в таких місцях, щоб здійснювати залізничні операції якнайшвидше за мінімальних витрат. Необхідно сконцентрувати міжнародні перевезення через обмежену кількість сортувальних станцій, які:

- формують вантажні поїзди, що направляються за кордон, або приймають вантажні поїзди, що прибувають з-за кордону;

- розташовані на лініях європейської мережі залізниць або поблизу від них і мають гарний зв'язок з цією мережею і перелік яких наводиться у таблиці 2;

- прагнуть скоротити число найважливіших сортувальних станцій в Європі з метою підвищення економії на транспорті і прискорення залізничних перевезень вантажів.

Таблиця 2

**Перелік сортувальних станцій в мережі СМЖЛ
(Європейська Угода про міжнародні магістральні залізничні лінії)**

Table 2

**The list of marshalling yards on the network AMRL
(European Agreement about International Main Railway Lines)**

| № з/п | Країна | Кількість станцій | Станції |
|-------|----------------------|-------------------|--|
| 1 | Австрія | 7 | Вельс, Відень, Грац, Зальцбург, Лінц, Філлах, Халь в Тіролі (Інсбрук) |
| 2 | Бельгія | 4 | Антверпен – Сев, Кінкемпуа (Льєж), Мерелбеке (Гент), Монсо |
| 3 | Боснія і Герцеговина | 1 | Добой |
| 4 | Болгарія | 4 | Горна-Оряховица, Димитровград, Рузе, Софія |
| 5 | Угорщина | 2 | Будапешт – Ференцварош, Сольнок |
| 6 | Німеччина | 14 | Бebra, Бремен, Гремберг (близько Кельна), Дрезден – Фрідріхштадт, Зеддін (близько Берліна), Зельце (близько Ганновера), Корнвестгейм (близько Штутгарта), Мангейм, Машен (близько Гамбурга), Мюнхен – Північ, Нюрнберг, Росток – Зеєхафен, Хаген-Ворхаль, Енгельсдорф (близько Лейпцига) |
| 7 | Греція | 2 | Афіни, Салоніки |
| 8 | Данія | 2 | Копенгаген (вантажний термінал), Падборг |
| 9 | Італія | 7 | Алессандрія, Болонья – Сан-Донато, Венеція -Местре, Марчанізе, Мілан - Смістаменто, Рим – Смістаменто, Турин – Орбассано. Без гірки: Барі – Ламасіната, Вентімілья – Парко-Роя, Вілла – Сан-Джованні, Домодоссола – Домо 2, Мессіна – Контецца, Понтебба, Трієст – С.М. |
| 10 | Іспанія | 8 | Барселона – Кан-Туніс, Валенсія – Фуенте – Сан-Луїс, Вікальваро, Кордоба (товарна), Леон, Міранда, Сарагоса-ля-Альмозара, Таррагона |
| 11 | Люксембург | 1 | Беттамбур – Дуделанге |
| 12 | Нідерланди | 1 | Роттердам – Кийфхук |
| 13 | Польща | 6 | Варшава – Прага, Вроцлав – Брохув, Познань – Франово, Тарновське– Гури, Щецін – Центральний порт |
| 14 | Португалія | 2 | Лісабон – Бейрулаш, Ентронкаменту |
| 15 | Румунія | 6 | Арад, Бухарест, Констанца, Крайова, Куртич, Ронат (Тімішоара) |
| 16 | Словаччина | 6 | Братислава, Жиліна, Комарно, Кошице, Чорна-над-Тисою, Штурово |
| 17 | Україна | 20 | Дарниця, Дебальцеве-Сорт, Запоріжжя-Ліве, Знам'янка, Іловайськ, Козятин, Красний Лиман, Красноармійськ, Кривий Ріг, Куп'янськ-Сорт, Маріуполь-Сорт, Нижньодніпровськ-Вузол, Одеса-Застава, Одеса-Сорт, Основа, Роздільна, Сарни, Стрий, Харків-Сорт, Ясинувата |
| 18 | Франція | 14 | Вупі, Жіврі, Лілль – Деліфранс, Мірама, Осбержен, Мюлуз, Париж (Ле Бурже, Ашер, Вільньов), Сен-Жорі, Сібелен, Сомен, Соттевіль, Уркад, Сен-П'єр-де-кор |
| 19 | Хорватія | 1 | Загреб – Сорт |

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Закінчення табл. 2

End of table 2

| № з/п | Країна | Кількість станцій | Станції |
|-------|-------------------|-------------------|--|
| 20 | Чеська Республіка | 5 | Бржецлав, Дечін, Німбурк, Прага-Лібень, Чешска-Тршебова |
| 21 | Швейцарія | 6 | Базель (Залізниця Швейцарії), Бухс (Санкт-Галлен), Женева, Кьяссо, Лімматталь (Цюрих), Лозанна |
| 22 | Сербія | 3 | Белград-Сорт, Поповац-Ніш, Суботіца |

Сортувальні станції є складними технічними та технологічними системами. Під системою розуміють сукупність об'єктів, які об'єднані деякою регулярною взаємодією або взаємозалежністю.

Теорію експлуатаційної надійності роботи сортувальних станцій слід розглядати як розвиток теорії взаємодії, яку розробили професори І. Г. Тихомиров та А. І. Платонов, тому що параметри надійності, в тому числі відмови в роботі різних підсистем, є результатом незадовільної взаємодії в роботі підсистем станції та їх елементів як технологічної системи. Відмова – це результат незадовільної взаємодії процесів, коли технологічні та технічні параметри підсистеми станції, а також характеристики вхідного потоку поїздів не відповідають встановленим розрахунковим значенням.

Простої составів в очікуванні розформування та в очікуванні закінчення формування, кількість колій в парках прибуття та відправлення, кількість відмов в роботі підсистем та їх тривалість залежать від технологічного устаткування сортувальної гірки, витяжних колій, кількості локомотивів та від інших факторів [3–6].

В статті «Дослідження структури вагонопотоків по прибутті та відправленні сортувальної станції Х» [Наука та прогрес транспорту, 2016, № 1(61)] авторами виконано аналіз основних показників роботи станції Х за I півріччя 2015 року. Подано основні якісні та кількісні показники порівняно з планом та рівнем виконання за I півріччя 2014 року. Наведено причини невиконання показників по елементах. Виконано аналіз вагонопотоків по сортувальній станції Х за травень 2015 року, визначено середньодобові

вагонопотоки по прибутті та відправленні.

В результаті дослідження розраховано пропускну (переробну) спроможність основних елементів станції.

Пропускна спроможність парків непарної системи станції становить:

- колій приймального парку «Г» – 119 поїздів;
- колій приймально-відправного парку «І» – 64 поїзди;
- колій приймально-відправного парку «Л» – 103 поїзди.

Пропускна спроможність парків парної системи станції становить:

- колій приймального парку «З» – 88 поїздів;
- колій приймально-відправного парку «Є» – 104 поїзди.

Розрахунку пропускну спроможності підлягають горловини, на яких здійснюються пересування організованих поїздів, а також горловини з інтенсивною маневровою роботою.

Для розрахунку пропускну спроможності горловину ділять на елементи, кількість яких повинна бути не менше ніж максимально можливо кількість пересувань, що одночасно здійснюються в горловині. До складу кожного елемента включається група стрілочних переводів, які працюють спільно, тобто при зайнятті одного з цих стрілочних переводів будь-яким пересуванням неможливе одночасне використання решти стрілочних переводів цього самого елемента для інших пересувань. Глухий перетин розглядається як стрілочний перевід, і йому надається відповідний номер.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

До одного елемента входять:

– обидва стрілочні переводи перехресного з'їзду з глухим перетином, розташовані на одній колії (за відсутності паралельного розпускання составів до одного елемента включаються усі стрілки перехресного з'їзду, розташованого після вершини гірки);

– стрілочні переводи, що входять до однієї ізольованої стрілочної ділянки (секції), причому до складу елемента може входити більше однієї секції – за умови, що через ці секції не можна здійснювати паралельні пересування.

Стрілочні переводи, через які можна одночасно здійснювати пересування по паралельних маршрутах (у тому числі переводи, спрямовані один до одного хрестовинами), мають належати до різних елементів.

Пропускна спроможність горловини розраховується за допомогою коефіцієнта використання залежно від тривалості зайняття горловини протягом доби всіма операціями, що передбачені технологічним процесом роботи станції, і за інших рівних умов залежить від прийнятого до розрахунку співвідношення між кількістю поїздів різних категорій і напрямків (у тому числі й тих, з якими виконуються постійні операції). Схема розрахунку наведена в табл. 3.

Пропускна спроможність горловин парків непарної системи станції становить:

– вхідної горловини приймального парку «Г» – 179 поїздів;

– передгіркової горловини приймального парку «Г» – 80 поїздів;

– вхідної горловини приймально-відправного парку «Л» – 150 поїздів;

– вихідної горловини приймально-відправного парку «Л» – 247 поїздів.

Пропускна спроможність горловин парків парної системи станції становить:

– вхідної горловини приймального парку «З» – 112 поїздів;

– передгіркової горловини приймального парку «З» – 69 поїздів;

– вхідної горловини приймально-відправного парку «Є» – 209 поїздів;

– вихідної горловини приймально-відправного парку «Є» – 210 поїздів.

Переробна спроможність станції розраховується для таких сортувальних пристроїв:

– непарна сортувальна гірка;

– парна сортувальна гірка.

Переробна спроможність сортувальної гірки визначається виходячи з того, що вона призначена для розформування составів і одночасного їх формування в процесі розпуску, при цьому робота із закінчення формування составів здійснюється з двох сторін – на гірці та на коліях вихідної горловини сортувального парку маневровим локомотивом.

Переробна спроможність сортувальної гірки визначається за допомогою коефіцієнта використання, залежно від тривалості її зайняття за добу всіма операціями, передбаченими технологічним процесом роботи станції, з урахуванням максимального звільнення гіркових локомотивів від усіх робіт, які можуть бути виконані на коліях вихідної горловини сортувального парку маневровим локомотивом (табл. 4).

Переробна спроможність гірок станції становить:

– непарної гірки – 90 поїздів;

– парної гірки – 96 поїздів.

Критерієм оцінки використання наявної пропускної спроможності є допустимий коефіцієнт використання пропускної спроможності. Допустимий коефіцієнт використання пропускної спроможності станційних пристроїв визначається вихідними даними про забезпечення стійкої роботи станції з високою експлуатаційною надійністю.

Допустимі коефіцієнти використання пропускної спроможності з приймання поїздів у розформування та переробної спроможності, тобто допустимі рівні завантаження, визначаються таким чином (табл. 5).

Використовуючи значення C_n , визначається допустиме завантаження гірки $\gamma_{гп}$ та колій приймання $\gamma_{п.п}$.

Якщо при заданих розмірах роботи коефіцієнти використання переробної спроможності сортувальної гірки $K_{гп}$ та пропускної спроможності колій K не перевищують значення $\gamma_{гп}$ та $\gamma_{п.п} \cdot (1 + \rho_{п.п}) \leq 1$ відповідно, то ці станційні пристрої працюють із завантаженнями, що не перевищують допустимих.

Якщо при заданих розмірах роботи коефіцієнт використання пропускної спроможності

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

горловини не перевищує 1, то її завантаження є допустимим.

Допустимий коефіцієнт використання пропускної спроможності щодо відправлення поїздів свого формування або щодо приймання та відправлення транзитних поїздів без переробки у випадку зміни локомотива $\gamma_{в.п}$ визначається

залежно від частки парку справних локомотивів $\alpha_{л}$, яка необхідна для погашення негативного впливу внутрішньо місячної нерівномірності руху та труднощів оперативного регулювання локомотивів на подовжених ділянках їх обертання з приймання поїздів у розформування (резерв вантажних локомотивів).

Таблица 3

Схема для розрахунку пропускної спроможності горловин

Table 3

The scheme for calculating carrying capacity of yard neck

| Назва показника | Формула | Пояснення |
|--|--|---|
| 1. Загальний час зайняття групи стрілок горловини усіма передбаченими операціями | $T = \sum \tau_i \cdot n'_i \cdot (1 + \rho_r)$ | τ_i – тривалість зайняття маршруту 1-ю операцією, хв; n'_i – кількість операцій на відповідному маршруті (приймання-відправлення поїздів, подавання-прибирання поїзних локомотивів, маневрові пересування), що збільшуються пропорційно зростанню розмірів руху; ρ_r – коефіцієнт, що враховує відмови пристроїв ЕЦ |
| 2. Загальний час займання групи стрілок горловини усіма постійними операціями | $T_{\text{пост}} = \sum (\tau_i \cdot n'_i)_{\text{пост}}$ | |
| 3. Коефіцієнт використання пропускної спроможності групи стрілок | $K_{\text{гр}} = \frac{T}{1440 - T_{\text{пост}}}$ | |
| 4. Складність роботи горловини | $\omega = \frac{M_3 - M_i}{E_o - 1}$ | M_3 – загальна кількість маршрутів, що розглядається; M_i – кількість маршрутів із зайняттям розрахункового елемента горловини; E_o – найімовірніша кількість пересувань, здійснюваних одночасно в горловині, що розглядається |
| 5. Коефіцієнт використання пропускної спроможності горловини | $K = \frac{T}{\alpha_r \cdot 1440 - T_{\text{пост}}}$ | α_r – коефіцієнт, який враховує вплив можливих пересувань у використанні стрілок розрахункового елемента через наявність ворожих пересувань через інші елементи горловини |
| 6. Пропускна спроможність для маршрутів, пов'язаних з операціями, які залежать від розмірів руху | $N_i = N'_i / K$ | |

Таблиця 4

Схема для розрахунку переробної спроможності сортувальної гірки

Table 4

The scheme for calculating the processing capacity of a hamp yard

| Назва показника | Формула та пояснення |
|---|---|
| 1. Загальний час зайняття сортувальної гірки операціями | $T = \left[(n'_{p1} + n'_{p2} + \dots) \cdot t_{гир} + \sum n'_{ман} \cdot t_{ман}^{гир} \right] \cdot (1 + \rho_{гир})$ <p>n'_{p1}, n'_{p2} – кількість составів, що розпускаються з сортувальної гірки і надходять відповідно з підходів 1, 2 і т.д.;</p> <p>$t_{гир}$ – середня тривалість зайняття сортувальної гірки, що припадає на один состав, який розформується, з урахуванням закінчення формування та інших операцій, тобто гірковий технологічний інтервал;</p> <p>$n'_{ман}$ – кількість поїздів, які приймаються і відправляються (залежить від розмірів руху) і при пропусканні яких розпуск з сортувальної гірки припиняється;</p> <p>$t_{ман}^{гир}$ – час зайняття передгіркової горловини одним таким поїздом за умови, що він може бути поєднаний із заїздами гіркових локомотивів, осаджуванням, закінченням розпуску (після звільнення гірковим локомотивом маршруту приймання);</p> <p>$\rho_{гир}$ – коефіцієнт, який враховує відмови технічних пристроїв</p> |
| 2. Коефіцієнт корисного використання сортувальної гірки | $\Psi_k = \frac{1440 \cdot \alpha_{гир} - \sum T_{пост}^{гир}}{1440 \cdot \mu_{пвт}}$ <p>$\alpha_{гир}$ – коефіцієнт, що враховує можливі перерви у використанні сортувальної гірки через ворожі пересування;</p> <p>$\sum T_{пост}^{гир}$ – час зайняття сортувальної гірки протягом доби виконання постійних операцій, кількість яких не змінюється пропорційно зі збільшенням обсягу переробки, або кількість яких задається на розрахунковий період (у тому числі задана кількість збірних поїздів, які повністю формуються на гірці);</p> <p>$\mu_{пвт}$ – коефіцієнт, що враховує повторне сортування частини вагонів у процесі закінчення формування з сортувальної гірки через недостатню кількість і довжину сортувальних колій</p> |
| 3. Коефіцієнт місткості сортувального парку | $\Psi_{мист} = \frac{N_{мист}}{n_{приз} \cdot m_{сер}}$ <p>$N_{мист}$ – місткість сортувального парку;</p> <p>$n_{приз}$ – кількість призначень сортувального парку;</p> <p>$m_{сер}$ – середній склад поїзда свого формування</p> |
| 4. Коефіцієнт використання переробної спроможності сортувальної гірки | $K_{гир} = \frac{\mu_{пвт} \cdot T}{1440 \cdot \alpha_{гир} - \sum T_{пост}^{гир}}$ |

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Закінчення табл. 4

End of table 4

| Назва показника | Формула та пояснення |
|---|--|
| 5. Час зайняття сортувальної гірки протягом доби виконанням постійних операцій | $\sum T_{\text{пост}}^{\text{гір}} = n_{\text{кут}}^{\text{гір}} \cdot t_{\text{кут}}^{\text{гір}} + n_{\text{рем}}^{\text{гір}} \cdot t_{\text{рем}}^{\text{гір}} + n_{\text{м}}^{\text{гір}} \cdot t_{\text{м}}^{\text{гір}} + t_{\text{техн}}^{\text{гір}} + \sum n_{\text{ман}}^{\text{гір}} \cdot t_{\text{ман}}^{\text{гір}}$ <p>$n_{\text{кут}}^{\text{гір}}, n_{\text{м}}^{\text{гір}}, n_{\text{рем}}^{\text{гір}}$ – кількість груп вагонів, які розпускаються з сортувальної гірки за добу, відповідно до кутового потоку, місцевих та груп вагонів з колій ремонту;</p> <p>$n_{\text{ман}}^{\text{гір}}$ – кількість поїздів, що приймаються (відправляються), маневрових пересувань, яка не залежить від обсягу переробки або є на даний розрахунковий період (у тому числі задана на розрахунковий період кількість збірних поїздів);</p> <p>$t_{\text{кут}}^{\text{гір}}, t_{\text{м}}^{\text{гір}}, t_{\text{рем}}^{\text{гір}}$ – середній час розпуску відповідної групи вагонів кутового потоку, місцевих передач та груп вагонів з колій ремонту, з урахуванням витрат часу на пропускання при цьому через передгіркову горловину маневрових составів і локомотивів;</p> <p>$t_{\text{техн}}^{\text{гір}}$ – час перерв у роботі сортувальної гірки, необхідний для екіпірування гіркових локомотивів, а також для щоденного технічного обслуговування вагонних уповільнювачів та іншого гіркового обладнання, що потребує припинення розпуску</p> |
| 6. Середньодобовий час зайняття сортувальної гірки технічним обслуговуванням, що входить у $t_{\text{техн}}^{\text{гір}}$ | $t_3 = K_3 \cdot \Pi$ <p>K_3 – коефіцієнт, який залежить від кількості спускних колій на гірці;</p> <p>Π – кількість пучків у сортувальному парку</p> |
| 7. Переробна спроможність сортувальної гірки для поїздів з кожного підходу | $N_p = \frac{n'_p}{K}$ |

Таблица 5

Схема для розрахунку допустимих рівнів завантаження системи

Table 5

The scheme for calculating the permissible levels of system loading

| Назва | Формула | Пояснення |
|--|---|--|
| 1. Наявна пропускна спроможність колій з приймання поїздів у розформування без урахування втрат від внутрішньодобової нерівномірності та впливу інших об'єктивних факторів | $n_{\text{н.п.п}} = n_{\text{п.п}} \cdot (1 + \rho_{\text{п.п}})$ | <p>$n_{\text{п.п}}$ – існуюча потужність колій щодо приймання поїздів у розформування;</p> <p>$\rho_{\text{п.п}}$ – коефіцієнт, що враховує внутрішньодобову нерівномірність руху вантажних поїздів, для приймальних колій</p> |
| 2. Співвідношення пропускної спроможності колій щодо приймання поїздів у розформування і переробної спроможності гірки | $C_n = \frac{n_{\text{н.п.п}}}{n_{\text{н.гір}}}$ | |

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Для перспективних розрахунків приймається $\alpha_{\text{л}} = 15 \%$.

Якщо при заданих розмірах роботи коефіцієнт використання пропускної спроможності колій K не перевищує $\gamma_{\text{в.п}}(1 + \rho_{\text{в.п}}) \leq 1$, де $\rho_{\text{в.п}}$ – коефіцієнт, що враховує внутрішньодобову нерівномірність руху вантажних поїздів, для відправних та приймально-відправних колій, то завантаження не перевищує допустиме.

Допустимий коефіцієнт використання пропускної спроможності щодо приймання та відправлення транзитних поїздів без переробки за відсутності зміни локомотива дорівнює 1, а вантажних колій – 0,7.

Збільшити пропускну спроможність парку «Г» неможливо через наявність однієї колії насуву і однієї колії розпуску через вершину непарної сортувальної гірки. Парк «Г» не має запасу пропускної спроможності.

При заданих розмірах роботи коефіцієнти використання переробної спроможності непарної гірки $K_{\text{гп}} = 0,306$, пропускної спроможності колій парку «Г» $K_{\text{п.п}} = 0,23$ не перевищують значень $\gamma_{\text{гп}} = 0,75$ та $\gamma_{\text{п.п}} \cdot (1 + \rho_{\text{п.п}}) = 0,68 \cdot (1 + 0,3) = 0,88$ відповідно, тобто станційні пристрої працюють із завантаженнями, що не перевищують допустимих. Коефіцієнти використання пропускної спроможності вхідної і передгіркової горловин парку «Г» відповідно дорівнюють 0,15 та 0,41 (не перевищують 1), тобто завантаження горловин допустиме.

За заданих розмірів роботи коефіцієнти використання пропускної спроможності парку «І» – $K = 0,14$, парку «Л» $K = 0,3$. При $\alpha_{\text{л}} = 15 \%$, $\gamma_{\text{в.п}} = 0,58$, значення $\gamma_{\text{в.п}} \cdot (1 + \rho_{\text{в.п}}) = 0,58 \cdot (1 + 0,4) = 0,81$, отже, коефіцієнти використання пропускної спроможності парків «Л», «І» нижче ніж допустимі.

Коефіцієнти використання пропускної спроможності вхідної горловини приймально-відправного парку «Л» $K = 0,23$, вихідної горловини парку «Л» $K = 0,13$, тобто завантаження горловин допустиме.

Коефіцієнти використання основних елементів станції не перевищують допустимі норми.

Збільшити пропускну спроможність парку «З» неможливо з причини наявності однієї колії насуву і однієї колії розпуску через вершину парної сортувальної гірки. Парк «З» не має запасу пропускної спроможності.

При пропусканні парних транзитних поїздів на «О – І» та «О – С» обмежуючим пристроєм є колії парку «Є». Парк «Є» має запас пропускної спроможності, в разі потреби, можливе використання колії № II для пропуску транзитних поїздів.

При відправленні парних поїздів свого формування на лінії «О – І» та «О – С» обмежуючим пристроєм є колії парку «Є».

За заданих розмірів роботи коефіцієнт використання пропускної спроможності парку «Є» $K = 0,48$. При $\alpha_{\text{л}} = 15 \%$, $\gamma_{\text{в.п}} = 0,58$, значення $\gamma_{\text{в.п}} \cdot (1 + \rho_{\text{в.п}}) = 0,58 \cdot (1 + 0,4) = 0,81$, отже, коефіцієнт використання пропускної спроможності парку «Є» нижче ніж допустимий.

Коефіцієнти використання пропускної спроможності вхідної горловини приймально-відправного парку «Є» $K = 0,19$, вихідної горловини парку «Є» $K = 0,15$, тобто завантаження горловин допустиме.

Результативна пропускну спроможність непарної системи станції з приймання транзитних поїздів з переробкою в розформування становить 80 поїздів, а з відправлення – 90 поїздів; пропуску транзитних поїздів без переробки – 64 поїзди.

Результативна пропускну спроможність парної системи станції з приймання транзитних поїздів з переробкою в розформування становить 69 поїздів, а з відправлення – 96 поїздів; пропуску транзитних поїздів без переробки – 60 поїздів.

Результати

В результаті дослідження розраховано пропускну (переробну) спроможність основних елементів станції.

Пропускна спроможність парків непарної системи станції становить:

- колій приймального парку «Г» – 119 поїздів;
- колій приймально-відправного парку «І» – 64 поїзди;

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

– колій приймально-відправного парку «Л» – 103 поїзди.

Пропускна спроможність парків парної системи станції становить:

– колій приймального парку «З» – 88 поїздів;

– колій приймально-відправного парку «Є» – 104 поїзди.

Добове завантаження сортувальної гірки та витяжних колій істотно змінюється за варіантами та градаціями розмірів руху. Це впливає на простой составів та на величину критерію в цілому, згідно з яким буде обиратися оптимальне технічне оснащення, оптимальна взаємодія в роботі підсистем та колійний розвиток станції. Цей критерій повинен враховувати витрати на технічне устаткування, спорудження колій, локомотиви, а також відповідні експлуатаційні витрати у всіх варіантах. Таким чином, вибір оптимальної взаємодії повинен встановлювати економічно доцільний рівень експлуатаційної надійності роботи підсистем, їх технічну та колійну потужність.

Наукова новизна та практична значимість

Збільшуючи продуктивність роботи каналу відправлення поїздів, сортувальної гірки та витяжних колій можливо інтенсифікувати процеси обробки поїздів та зменшити простой вагонів. Скорочення гіркового технологічного інтервалу дозволяє зменшити простой вагонів в парку прибуття, усунути відмови в роботі підсистем – затримки поїздів внаслідок неприйому, а також скоротити потребу в збільшенні колій парку прибуття, тобто дозволяє скоротити капітальні вкладення в колійний розвиток станції. У разі скорочення інтервалу виставлення сформованих составів за рахунок скорочення операцій по закінченні формування з'явиться можливість зменшити простой накоплених составів та скоротити потребу у збільшенні кількості колій сортувального парку. Прискорення виводу поїздів з підсистеми витяжні колії формування – парк відправлення – вихідні ділянки не тільки скорочує простой поїздів по відправленні, але й зменшує потрібну кількість колій в парку відправлення.

Інтенсифікація технологічних процесів на сортувальних станціях забезпечує зменшення

обороту вагонів, скорочення простоїв та високу економічну ефективність капітальних вкладень. В дослідженні розглянуті питання пов'язані з підвищенням ефективності функціонування сортувальних станцій в умовах реформування залізничного транспорту.

Висновки

Використання методів визначення раціональної пропускної (переробної) спроможності сортувальних станцій, для розподілу поїздопотоку між ними, дає можливість покращити якісні показники роботи сортувальних станцій.

За останні 10 років спостерігається збільшення обсягів перевізної роботи, але і в цей час сортувальні станції завантажені лише на 50–60 %, що є найнижчим показником їх використання. Виходячи із закордонного досвіду, резерв переробної спроможності сортувальних станцій повинен складати 15–30 %, тому необхідно проводити низку заходів з реорганізації роботи сортувальних станцій та реструктуризації штату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богданов, В. М. Резервы пропускной и провозной способности / В. М. Богданов // Ж.-д. трансп. – 2008. – № 8. – С. 54–56.
2. Бутко, Т. В. До питання визначення оптимальної кількості сортувальних станцій / Т. В. Бутко, М. І. Данько, Г. М. Сіконенко // Коммунальное хоз-во городов. Серия: Техн. науки и архит. : сб. науч. тр. / Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Харьков, 2002. – Вип. 45. – С. 237–242.
3. Бутко, Т. В. Удосконалення управління процесом просування поїздопотоків на основі стабілізації обігу вантажного вагону / Т. В. Бутко, О. В. Лаврухін, Ю. В. Доценко // Зб. наук. пр. Донец. ін-ту залізн. трансп. – Донецьк, 2010. – Вип. 22. – С. 18–26.
4. Годяев, А. И. Оценка потенциально реализуемой пропускной способности железнодорожного участка / А. И. Годяев // Вестн. ВНИИЖТа. – 2004. – № 6. – С. 29–32.
5. Луханин, Н. И. К вопросу сокращения оборота вагонов / Н. И. Луханин, Г. И. Музыкина, П. В. Бех // Залізн. трансп. України. – 2007. – № 4. – С. 69–71.
6. Макарович, А. М. Оптимизация развития пропускной способности железнодорожных линий

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- / А. М. Макарович. – Москва : Транспорт, 1969. – 200 с.
7. Музикін, М. І. Вплив «вікон» на пропускну спроможність залізничного напрямку / М. І. Музикін, Г. І. Нестеренко // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 3 (51). – С. 24–33. doi: 10.15802/stp2014/25797.
 8. Музикіна, Г. І. Вплив параметрів накопичення вагонів на їх простій на сортувальній станції / Г. І. Музикіна, Т. В. Болвановська, Є. М. Жорова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 20. – С. 198–201.
 9. Сотников, И. Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог / И. Б. Сотников. – Москва : Транспорт, 1976. – 268 с.
 10. Сотников, Е. А. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребную пропускную способность участков / Е. А. Сотников, К. П. Шенфельд // Вестн. ВНИИЖТа. – 2011. – № 5. – С. 3–9.
 11. Шабалин, Н. Н. Оптимизация процесса переработки вагонов на станциях / Н. Н. Шабалин. – Москва : Транспорт, 1973. – 184 с.
 12. Яновський, П. О. Дослідження впливу факторів на час перебування поїздів на дільницях / П. О. Яновський // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 3. – С. 25–29.
 13. Gestrelus, S. Mathematical models for optimising decision support systems in the railway industry [Електронний ресурс] / S. Gestrelus. – Västerås : Malardalen University Press, 2015. – 42 p. – Режим доступу: mdh.diva-portal.org/smash/get/diva2:798558/FULLTEXT01.pdf. – Назва з екрана. – Перевірено : 28.03.2016.
 14. Railway operations, time-tabling and control / M. Marinov, I. Sahin, S. Ricci, G. Vasic-Franklin // Research in Transportation Economics. – 2015. – Vol. 41, № 1. – P. 59–75. doi:10.1016/j.retrec.2012.10.003.

С. И. МУЗЫКИНА¹, М. И. МУЗЫКИН^{2*}, Г. И. НЕСТЕРЕНКО³

¹Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 082 88 27, эл. почта fufei@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5832-6949

^{2*}Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (095) 251 53 14, эл. почта grafimim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061

³Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 70, эл. почта galinamuzykina@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1629-0201

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ

Цель. Научная работа своей целью имеет выбор рациональных технологических параметров организации процесса перевозок, которые позволили бы практически реализовать движение грузовых поездов с наиболее эффективным распределением поездопотоков. Рассматривается также снижение показателя простоя вагонов вследствие увеличения скорости доставки грузов и поиск путей увеличения пропускной способности сортировочной станции. **Методика.** Приведены технические и эксплуатационные характеристики сортировочных станций Европы и Украины. В качестве методов исследования принят анализ работы станции, анализ продвижения вагонопотоков, анализ графика исполненного движения поездов, натурных листов формы ДУ-1 по прибытию и отправлению поездов. Разработаны схемы для расчетов пропускной способности горловин, перерабатывающей способности сортировочной горки, допустимых уровней загрузки системы. **Результаты.** По итогам исследования рассчитана пропускная (перерабатывающая) способность основных элементов станции. Суточные загрузки сортировочной горки и вытяжных путей существенно изменяются по вариантам и грациям размеров движения. Это влияет на простой составов и, в целом, на величину критерия, согласно которому будет выбираться оптимальное техническое оснащение, оптимальное взаимодействие в работе подсистем и путевое развитие станции. Этот критерий должен учитывать затраты на техническое оборудование, сооружения путей, локомотивы, а также соответствующие эксплуатационные расходы во всех вариантах. Таким образом, выбор оптимального взаимодействия должен устанавливать экономически целесообразный уровень эксплуатационной надежности работы подсистем, их техническую и путевую мощность. **Научная новизна.** Увеличивая производительность работы канала отправления поездов,

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

сортировочной горки и вытяжных путей, возможно интенсифицировать процессы обработки поездов и уменьшить простои вагонов. Интенсификация технологических процессов на сортировочных станциях обеспечивает уменьшение оборота вагонов, сокращение простоев и высокую экономическую эффективность капитальных вложений. В исследовании рассмотрены вопросы, связанные с повышением эффективности функционирования сортировочных станций в условиях реформирования железнодорожного транспорта. **Практическая значимость.** Использование методов определения рациональной пропускной (перерабатывающей) способности сортировочных станций, для распределения поездопотоков между ними, дает возможность улучшить качественные показатели работы сортировочных станций.

Ключевые слова: вагонопоток; сортировочная станция; объем переработки; пропускная способность; горловины; перерабатывающая способность

S. I. MUZYKINA¹, M. I. MUZYKIN^{2*}, G. I. NESTERENKO³

¹Dep. «Life Activity Safety», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 082 88 27, e-mail fufei@rambler.ru, ORCID 0000-0002-5832-6949

^{2*}Dep. «Life Activity Safety», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (095) 251 53 14, e-mail grafmim@rambler.ru, ORCID 0000-0003-2938-7061

³Dep. «Management of Operational Work», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 70, e-mail galinamuzykina@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1629-0201

STUDY OF WORKING CAPACITY OF THE MARSHALLING YARD

Purpose. The scientific paper has a purpose to choose rational technological parameters of the transportation organization process, which would enable the freight train movement with the most efficient train traffic arrangement, the decrease in idle time due to the increased speed of cargo delivery and the increase in the working capacity of the marshalling yard. **Methodology.** The work presents the technical and operational characteristics of marshalling yards in Europe and Ukraine. The research methods include the station operation analysis, the car traffic flow analysis, analysis of the train sheet, the DU-1 natural sheets upon arrival and departure of trains. Schemes were developed for calculating working capacity of necks, rehandling capacity of marshalling hump, acceptable levels of system loading. **Findings.** The research resulted in the calculated working (rehandling) capacity of the main elements of the station. Daily loads of marshalling hump and turnout tracks vary significantly by variations and gradations of movement volume. This affects the idle time of trains and, in general, the value of the criterion according to which the optimal technical equipment, optimum interaction of the subsystems and gridiron of the station will be chosen. This criterion must take into account the costs of technical equipment, construction of tracks, locomotives, as well as related operating costs in all cases. Thus, the selection of the optimal interaction should establish the economically viable level of operational reliability of the sub-systems, their technical and track capacity. **Originality.** By increasing the productivity of train departure channel, marshalling hump and turnout tracks it is possible the train handling processes and reduce the car idle time. Intensification of production processes in marshalling yards provides a reduction in car turnover and in idle time and high economic efficiency of capital investments. The work covers the issues related to improving the efficiency of functioning of marshalling yards in the railway transport reforming conditions. **Practical value.** Using the methods of determining the rational working (rehandling) capacity of marshalling yards for distribution of train traffic flows between them makes it possible to improve the quality indicators of marshalling yard operation.

Keywords: car traffic flow; marshalling yard; rehandling volume; working capacity; neck; rehandling capacity

REFERENCES

1. Bogdanov V.M. Rezervy propusknoy i provoznoy sposobnosti [Reserves of traffic and carrying capacity]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2008, no. 8, pp. 54-56.
2. Butko T.V., Danko M.I., Sikonenko H.M. Do pytannia vyznachennia optymalnoi kilkosti sortovalnykh stantsii [On the issue of determining the optimal number of marshalling yards]. *Sbornik nauchnykh trudov «Komunalnoye khozyaystvo gorodov. Seriya: Tekhnicheskije nauki i arkhitektura»* [Proc. «Municipal services cities. Serie: Engineering and Architecture»], 2003, issue 45, pp. 237-242.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

3. Butko T.V., Lavrukhin O.V., Dotsenko Yu.V. Udoskonalennia upravlinnia protsesom prosuvannia poizdopotokiv na osnovi stabilizatsii obihu vantazhnoho vahonu [Improve the management of process of moving trains flow based on stabilization turnover of freight cars]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of Donetsk Institute of Railway Transport], 2010, issue 22, pp. 18-26.
4. Godayayev A.I. Otsenka potentsialno realizuyemoy propusknoy sposobnosti zheleznodorozhnogo uchastka [Evaluation of potentially realizable traffic capacity of a railway section]. *Vestnik VNIIZhTa – ARRIRT Bulletin*, 2004, no. 6, pp. 29-32.
5. Lukhanin N.I., Muzykina G.I., Bekh P.V. K voprosu sokrashcheniya oborota vagonov [On the question of reducing the turnover of cars]. *Zaliznyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2007, issue 4, pp. 69-71.
6. Makarochkin A.M. *Optimizatsiya razvitiya propusknoy sposobnosti zheleznodorozhnykh liniy* [Development optimisation of traffic capacity of railway lines]. Moscow, Transport Publ., 1969. 200 p.
7. Muzykin M.I., Nesterenko H.I. Vplyv «vikon» na propusknuyu spromozhnist zaliznychnoho napriamku [Influence of maintenance windows on the working capacity of railway route]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 3 (51), pp. 24-33. doi: 10.15802/stp2014/25797.
8. Muzykina H.I., Bolvanovska T.V., Zhorova Ye.M. Vplyv parametriv nakopychennia vahoniv na yikh prostii na sortuvalnii stantsii [The influence of cars acquisition parameters on their idle hours on marshalling yard]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 20, pp. 198-201.
9. Sotnikov Ye.A., Shenfeld K.P. Neravnomernost gruzovykh perevozok v sovremennykh usloviyakh i yeye vliyanie na potrebnuyu propusknuyu sposobnost uchastkov [Irregularity of freight transportations in modern conditions and its impact on the needs of traffic capacity sections]. *Vestnik VNIIZhTa – ARRIRT Bulletin*, 2011, no. 5, pp. 3-9.
10. Sotnikov I.B. *Vzaimodeystviye stantsiy i uchastkov zheleznnykh dorog* [Interaction between stations and plots of railways]. Moscow, Transport Publ., 1976. 268 p.
11. Shabalin N. N. *Optimizatsiya protsessa pererabotki vagonov na stantsiyakh* [Optimization of the recycling process of cars at stations]. Moscow, Transport Publ., 1973. 184 p.
12. Yanovskiy P.O. Doslidzhennia vplyvu faktoriv na chas perebuvannia poizdiv na dilnytsiakh [Research of influence the factors on time the train location on sections]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2008, no. 3, pp. 25-29.
13. Gestrelus S. Mathematical models for optimising decision support systems in the railway industry. Västerås, Malardalen University Press Publ., 2015. 42 p.
14. Marinov M., Sahin I., Ricci S., Vasic-Franklin G. Railway operations, time-tabling and control. *Research in Transportation Economics*, 2015, vol. 41, no. 1, pp. 59-75. doi:10.1016/j.retrec.2012.10.003.

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. В. І. Бобровським (Україна);
д.т.н., проф. Т. В. Бутько (Україна)

Надійшла до редколегії: 20.12.2015

Прийнята до друку: 26.02.2016

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

УДК 004.942: 656.13(1-21)

В. А. ЛАХНО^{1*}, В. М. СОБЧЕНКО^{2*}

^{1*}Каф. «Організація комплексного захисту інформації», Європейський університет, бульв. академіка Вернадського, 16-В, Київ, Україна, 03115, тел. +38 (044) 276 52 51, ел. пошта valss21@ukr.net, ORCID 0000-0001-9695-4543

^{2*}Каф. «Інформаційні системи та математичні дисципліни», Європейський університет, бульв. академіка Вернадського, 16-В, Київ, Україна, 03115, тел. +38 (044) 423 00 78, 03115, ел. пошта floydrose@i.ua, ORCID 0000-0002-2018-5511

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ МІСЬКИМ ПАСАЖИРСЬКИМ АВТОТРАНСПОРТОМ

Мета. Наукова робота спрямована на подальший розвиток математичних моделей та алгоритмів для автоматизованих систем підтримки прийняття рішень диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом. **Методика.** Системи диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом спрямовані забезпечити виконання розкладу руху з мінімальними відхиленнями від запланованого за допомогою використання відповідних диспетчерських дій. Алгоритм систем орієнтовано на вибір диспетчерських дій, які компенсують збурюючі впливи. В якості критерію оцінки роботи систем диспетчерського управління запропоновано використовувати показник мінімуму часу очікування пасажирями автобусів і маршрутних таксі на зупинках. **Результати.** На основі проведеного аналізу досліджень, в межах існуючої теорії руху потоків автотранспорту, запропонована модель для системи диспетчерського управління міськими пасажирськими рухомими одиницями з урахуванням впливу найбільш значущих стохастичних чинників на графік руху автобусів та маршрутних таксі у великих містах. Отримана система рівнянь, яка моделює параметри руху на автобусних маршрутах, дозволяє миттєво оцінювати вплив збурюючих факторів на показники якості обслуговування пасажирів та, при потребі, скласти оптимальний розклад руху. **Наукова новизна.** Авторами запропоновано нову модель для систем підтримки прийняття рішень диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом із урахуванням впливу найбільш значущих стохастичних чинників, зокрема таких, як переповнення пасажирями автобусів та маршрутних таксі, їх схід із лінії, відхилення від розкладу, відхилення від швидкісного режиму на маршруті та ін., на показники якості обслуговування. Модель дозволяє також оптимізувати розклад руху. **Практична значимість.** Результати роботи дозволяють удосконалити підходи до побудови моделей, які використовуються в системах диспетчерського управління міськими автобусними маршрутами, а також удосконалити вибір керуючих впливів для подібних систем у великих містах України.

Ключові слова: автоматизовані системи; диспетчерське управління; математична модель; алгоритм управління; міський пасажирський автотранспорт

Вступ

Міський пасажирський автотранспортний комплекс – це сукупність автобусів та маршрутних таксі, які належать комунальним та прива-

тним підприємствам, управляючого ними персоналу та всієї інфраструктури, яка визначає ефективність його функціонування.

Сучасні комп'ютерні системи диспетчерського управління міським пасажирським авто-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

транспорт (СДУМАТ) базуються на використанні наукомістких інформаційно-комунікаційних технологій, затребуваних необхідністю підвищення ефективності управління дорожнім рухом, зокрема у великих містах (рис. 1).

Вимога щодо оперативності дій транспортних служб суперечить тенденції безперервного зростання парку індивідуального та муніципального громадського транспорту.

Постановка проблеми. Основне завдання системи диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом – задоволення потреби пасажирів у поїздках. Одним зі способів його вирішення є чітке дотримання розкладу, а також підключення у разі необхідності резервних транспортних засобів. Критерієм якості задоволення потреб в поїздках є мінімізація часу очікування пасажирів транспорту [3, 7, 8]. Всі порушення руху транспорту – відхилення від розкладу, переповнення, які виникають внаслідок нерівномірної швидкості руху окремих рухомих одиниць (РО) та флуктуацій пасажиропотоку, призводять до збільшення часу очікування. Тому і ефективність управляючих дій доречно оцінювати за тим же критерієм.

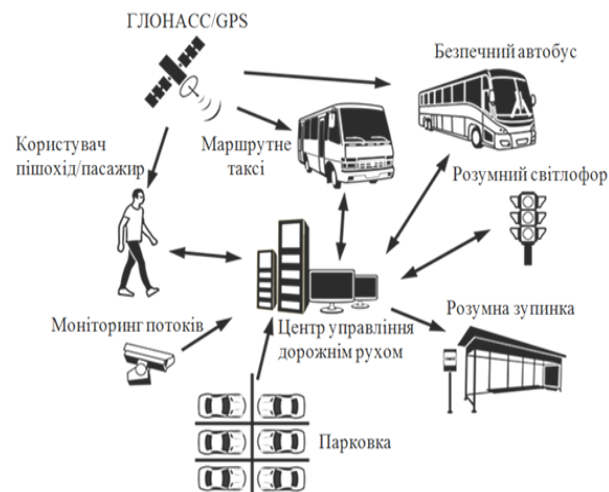


Рис. 1. Схема системи диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом (СДУМАТ)

Fig. 1. The scheme of the system for dispatching management of the city passenger traffic (SDMCPT)

Огляд та аналіз попередніх досліджень. В [1, 3] зазначено, що включення СДУМАТ в систему управління пасажирськими перевезеннями вимагає від розробника: по-перше, на-

повнити її програмами, пов'язаними з технологією управління, узгодити її динамічні характеристики з динамікою роботи реального об'єкта, по-друге, узгодити фізичну форму сигналів, які надходять від об'єкта до ЕОМ та видаваних з ЕОМ на об'єкт.

Якщо алгоритм управління носить жорсткий характер, досить простий та повністю відомий замовнику та розробнику, то достатньо легко запрограмувати роботу ЕОМ, заклавши в її пам'ять, наприклад, автономну таблицю з врахуванням кодування входів та виходів, пов'язаних з об'єктом управління [9, 12]. Кодування внутрішніх станів при цьому може бути довільним [10, 11, 12].

Якщо ж алгоритм управління не носить жорсткого характеру, якщо в процесі прийняття рішень про видачу сигналів на об'єкт управління вирішуються різноманітні оптимізаційні задачі, якщо, нарешті, на першому етапі експериментальної перевірки системи управління здійснюється накопичення нової інформації про об'єкт, раніше невідомої замовнику чи розробнику, то застосування ЕОМ стає виправданим [1, 2, 6, 13, 14].

Мета

Мета роботи – вдосконалення математичних моделей та алгоритмів для автоматизованих систем підтримки прийняття рішень диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом.

Методика

Мета СДУМАТ – забезпечити виконання розкладу руху з мінімальними відхиленнями від запланованого за допомогою використання відповідних диспетчерських дій (ДД). Тому алгоритми СДУМАТ орієнтовані на вибір диспетчерських дій, які компенсують збурюючі фактори (ЗФ). Вони мають математичний характер та легко моделюються.

Модель функціонування маршруту для СДУМАТ, що розробляється, описується системою рівнянь: маршруту та процес

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$$\left. \begin{aligned}
& t_i^1 = t_i^{nup(k)}; \\
& Q_i^0 = 0; \\
& q_i^1 = 0; \\
& v_i^j = \frac{i}{n} \eta_i \rho^j(t); \\
& q_i^j = v_i^j Q_i^{j-1}; \\
& r_i^j = A_i - (Q_i^{j-1} - q_i^j); \\
& P_i^j = \int_{t_{i-1}^j}^{t_i^j} \rho^j(t) dt; \\
& d_i^j = P_i^j + g_{i-1}^j; \\
& Q_i^j = \min \{ A_i, A_i + d_i^j - r_i^j \}; \\
& g_i^j = \max \{ 0, d_i^j - r_i^j \}; \\
& \tilde{P}_i^j = d_i^j - g_i^j; \\
& q_i^n = Q_i^{n-1}; \\
& P_i^n = 0; \\
& \tau_{ni}^j = \eta_i (\tilde{P}_i^j + q_i^j); \\
& \tau_{zi}^j = \tau_z(U); \\
& \tau_i^j = \begin{cases} \tau_{ni}^j, & \text{if } \tau_{zi}^j \leq \tau_{ni}^j, \\ \tau_{zi}^j, & \text{if } \tau_{zi}^j > \tau_{ni}^j; \end{cases} \\
& v_i^j = v(U); \\
& \tilde{\tau}_i^{j+1} = l^j / v_i^j; \\
& t_i^{j+1} = t_i^j + \tilde{\tau}_i^{j+1} + \tau_i^j; \\
& \tau_i'^j = t_i^j - t_{i-1}^j.
\end{aligned} \right\}$$

$$i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

де m – кількість РО; n – кількість ПЗ; l^j – відстань між j -м та $j+1$ -м ПЗ; $t_i^{nup(k)}$ – час початку k -го рейсу; A_i – місткість i -ї РО; $v(U)$ – випадкова величина, яка характеризується законом розподілу швидкості руху при даній ознаці управління; $\tau_z(U)$ – випадкова величина, яка визначає час затримки як функцію від ознаки управління; η_i – випадкова величина, яка характеризує інтенсивність посадки та висадки для i -ї РО; v_i^j – випадкова величина, яка характеризує кількість пасажирів, що виходять

з i -ї РО на j -му ПЗ; $\rho^j(t)$ – випадкова величина, яка характеризує щільність пасажиропотоку на j -му ПЗ; t_i^j – час прибуття РО на j -й ПЗ; Q_i^j – наповнення i -ї РО після обслуговування j -го ПЗ; $\tilde{\tau}_i^{j+1}$ – час, затрачений на рух по перегону маршруту між j -м та $j+1$ -м ПЗ; τ_{ni}^j – час, який витрачається на посадку та висадку пасажирів на j -му ПЗ i -ї РО; $\tau_i'^j$ – час руху між $i-1$ -ю та i -ю РО після проходження j -го ПЗ; \tilde{P}_i^j , q_i^j – кількість пасажирів, що зайшли та вийшли відповідно; $v(U)$ – випадкова величина, що характеризується законом розподілу швидкості руху при даній ознаці управління; P_i^j – кількість пасажирів, що прийшли до j -го ПЗ за час між прибуттям i -ї та $(i-1)$ -ї РО; r_i^j – резерв місць в i -ї РО на j -му ПЗ; g_i^j – кількість необслужених пасажирів i -ю РО j -м ПЗ; d_i^j – потреба в перевезенні з j -го ПЗ в момент прибуття i -ї РО.

Вихідними даними для моделювання є величини m ; n ; l^j ; $t_i^{nup(k)}$; A_i ; $v(U)$; $\tau_z(U)$; η_i ; $\rho^j(t)$. Інші величини обчислюються рекурсивно в процесі функціонування моделі.

Випадкові величини η_i та $\rho^j(t)$ визначаються в результаті виконання дослідження пасажиропотоків.

Характеристики густоти пасажиропотоку формуються на основі добових об'ємів перевезень на маршруті A^j та відомих загальних закономірностей розподілу перевезень по годинах доби, заданим у вигляді вагових оцінок W_{in} , таких, що $\sum_i W_{in} = 1$, $i = \overline{1, T}$, $n = \overline{1, N}$, де N – кількість можливих варіантів розподілу перевезень.

Отже, $\rho^j(t)$ будемо обчислювати за формулою $\rho^j(t) = W_{in} \frac{A^j}{N}$, де момент моделювання t належить одному з часових відрізків i .

Моделювання системи збору інформації полягає в присвоєнні деяким ПЗ ознак контрольного пункту (КП). При переході моделі в стан, в якому i -а РО знаходиться на КП, обчислю-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

ються величини: t_{inp}^{KP} – час прибуття на КП;
 $K_i = 25 - 30\%$ – коефіцієнт наповнення РО (тут [...] – «ціла частина»), який є аналогом інформації, що отримують за допомогою СДУМАТ при даному КТС, який разом з номерами РО та ПЗ поступають на вхід моделі СДУМАТ.

Блочна структура моделі дозволяє використовувати різні алгоритми та виконувати їх порівняльний аналіз. Вибір оптимальних алгоритмів управління рухом є найважливішим завданням побудови СДУМАТ.

Вхідною інформацією для моделі СДУМАТ служать плановий розклад руху, а також інформація, що поступає з моделі маршруту: момент проходження рухомої одиниці КП, коефіцієнти наповнення РО, повідомлення про сході РО з лінії.

Основним критерієм якості задоволення потреби в поїздках приймаємо час очікування пасажирів транспорту. Структура моделі дозволяє безпосередньо оцінювати цю величину. Зауважимо, що в реальних умовах можлива тільки приблизна оцінка часу очікування пасажирів транспорту.

Будемо вважати потік пасажирів на зупинці пуассонівським з параметром ρ .

Тоді за час τ на зупинку в середньому приходять $\rho\tau$ пасажирів. Час очікування пасажирів автобуса (РО) в середньому рівний половині інтервалу очікування. Тоді сумарні затрати часу для всіх пасажирів на очікування транспорту, які зібрались за час τ ,

$$Z = \rho\tau\tau/2 = \rho\tau^2/2.$$

Час τ збору пасажирів приймається рівним інтервалу часу між прибуттям на зупинку двох сусідніх РО. Якщо пасажир не був обслугованим РО, що підійшла, то час очікування ним приходу наступної рівний вже не половині, а інтервалу між РО. Тому сумарні затрати часу на j -му ПЗ за інтервал $\tau_{i-1,i}^j$ між прибуттям $i-1$ -ї та i -ї РО

$$Z_i^j = P_i^j \frac{\tau_{i-1,i}^j}{2} + g_{i-1}^j \tau_{i-1,i}^j. \quad (2)$$

Середні витрати часу очікування S_i^j обчислюються за формулою

$$S_i^j = Z_i^j / P_i^j. \quad (3)$$

На основі виразу (2) можна визначити затрати для кожної РО за рейс $Z_i = \sum_{j=1}^n Z_i^j$,

$S_i = \sum_{j=1}^n S_i^j$ відповідно та для кожного ПЗ за інтервал часу між приходами n рухомих одиниць: $\tau = t_{K+n}^j - t_K^j$; $Z^j = \sum_{i=K}^{K+n} Z_i^j$; $S^j = \sum_{i=K}^{K+n} S_i^j$.

Величини Z_i^j можуть обчислюватись для всіх i, j в процесі функціонування моделі за формулою (2).

Розглянемо вплив збурюючих факторів на величину параметрів Z та S .

Відхилення РО від розкладу. Допустимо, що на достатньо короткому часовому інтервалі щільність пасажиропотоку постійна, $\rho^j(t) = \rho^j$.

Тоді

$$P_i^j = \rho^j \tau_{i-1,i}^j$$

та

$$P_i = \sum_{j=1}^n P_i^j = \sum_{j=1}^n \rho^j \tau_{i-1,i}^j, \quad (4)$$

де P_i – сумарний пасажиропотік, який приходить на i -у РО за рейс.

СДУМАТ може формувати такі управляючі дії: «зменшення часу рейсу», «розсування інтервалу», «перехід на рівномірний інтервал», «перехід з маршруту на маршрут» та «введення резервної РО».

Зокрема, зниження ΔJ_p сумарного часу очікування пасажирів за рахунок введення резерву при сході РО з лінії визначиться у вигляді

$$\Delta J_p = \sum_{j=1}^5 \lambda_j \tau_j(t_c) t_{cj} - \sum_{j=1}^5 \lambda_j \tau_j(t_p) t_{pj} + \sum_{j=1}^5 \lambda_j \tau_j(t_p) t_{cj},$$

де λ_j – інтенсивність пасажиропотоку на j -му часовому відрізку; $\tau_j(t_c)$ – частина j -го часового відрізка, яка перекривається часом сходження РО; t_{cj} – середній час очікування пасажирів на j -му часовому відрізку при сході РО на ньому;

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$\tau_j(t_c)$ – частина j -го часового відрізка, яка перекривається часом сходу РО; t_{pj} – середній час очікування пасажирів при введенні резервної РО на j -му часовому відрізку; $\tau_j(t_p)$ – частина j -го часового відрізка, яка знаходиться між моментами сходу РО з лінії та введенні резервної РО.

Перехід РО з одного маршруту на інший можна ототожнювати з вводом резервної РО на перший маршрут. Тому зниження ΔJ_n сумарного часу очікування пасажирів на першому маршруті за рахунок переходу РО з маршруту на маршрут визначиться по аналогії з ΔJ_p .

Перевід РО з маршруту на маршрут буде виправданим тільки в тому випадку, коли зниження часу очікування пасажирів на новому маршруті буде більше збільшення часу очікування пасажирів на попередньому маршруті (в розглянутому випадку при $\Delta J_n > \Delta J_1$). Загальне зниження ΔJ часу очікування пасажирів

$$\Delta J = \Delta J_n - \Delta J_1 = \sum_{j=1}^5 \lambda_j \tau_j(t_n)(t_{cj} - t_{nj}) - \sum_{j=1}^5 \lambda_{2j} \tau_j(t_n) t_{nj} - \sum_{j=1}^5 \lambda_{2j} \tau_j t_{2j},$$

де $\tau_j(t_n)$ – частина j -го часового відрізка, на якому працює «переведена» РО; t_{cj} – середній час очікування пасажирів на j -му часовому відрізку при сході на ньому РО; t_{nj} – середній час очікування пасажирів на j -му часовому відрізку при роботі «переведеної» на ньому РО; $\tau_j(t_n)$ – частина j -го часового відрізка, яка перекривається часом переведу РО (часом τ_n); t_{nj} – середній час очікування пасажирів на j -му часовому відрізку при переведенні РО на другий маршрут; τ_j – тривалість j -го відрізка часу; t_{2j} – середній час очікування пасажирів на j -му часовому відрізку без переведу РО на другий маршрут.

При формуванні управляючої дії «перевід РО з маршруту на маршрут» у випадку сходу РО з лінії необхідно визначити таку пару мар-

шрутів, для якої забезпечується максимум загального зниження часу очікування пасажирів – $\max \Delta J$. Вибір найбільш ефективної управляючої дії при сході РО з лінії може бути здійснений при визначенні максимального зниження ΔJ_c сумарного часу очікування пасажирів:

$$\Delta J_c = \max(\Delta J_p, \Delta J_u, \Delta J_o, \max \Delta J),$$

де $\Delta J_u = \sum_{j=1}^5 \lambda_j \tau_j(t_u)(t_{cj} - t_{uj})$ – сумарний час

очікування пасажирів за рахунок розсування інтервалу при сході РО з лінії;

$\Delta J_o = \sum_{j=1}^5 \lambda_j \tau_j(t_o)(t_{cj} - t_{oj})$ – сумарний час очі-

кування пасажирів за рахунок переходу на рівномірний або оперативний інтервал руху РО; $\tau_j(t_o)$ – частина j -го часового відрізка, на якому інтервал руху РО здійснюється з оперативним інтервалом t_o ; $\tau_j(t_u)$ – частина j -го часового відрізка, на якому інтервал руху РО збільшений на відрізок t_u ; t_{oj} – середній час очікування пасажирів на j -му часовому відрізку при русі РО на ньому з оперативним інтервалом t_o ; t_{uj} – середній час очікування пасажирів на j -му часовому відрізку при збільшенні інтервалу руху РО на ньому на величину t_u .

Таким чином, при кожному сході РО з лінії доцільно формувати таку управляючу дію, яка забезпечує максимальне зниження часу очікування пасажирів (порівняно з випадком відсутності управляючих дій).

Якщо на цей маршрут перевести РО, то ΔJ_y зменшиться на ΔJ_n , на величину зниження сумарного часу очікування пасажирів за рахунок переведу РО з маршруту на маршрут. Якщо ввести резервну РО, то величина ΔJ_y зменшиться на ΔJ_p , на величину зниження сумарного часу очікування пасажирів за рахунок введення резервної РО.

Вибір типу управляючої дії при позаплановому збільшенні пасажиропотоку на маршруті може бути здійснений при визначенні максимального зменшення величини ΔJ_y :

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$$J_y = \max \{ (\Delta J_y - \Delta J_n), (\Delta J_y - \Delta J_p) \},$$

де $\Delta J_y = \sum_{j=1}^5 \Delta \lambda_j \tau_j(t_n) t_{yj}$; t_{yj} – середній час очі-

кування пасажирів на j -му часовому відрізку при збільшенні на ньому пасажиропотоку.

Таким чином, встановлено, що всі збурюючі фактори погіршують показники якості обслуговування пасажирів. На описаній моделі – це явище можна піддати кількісній оцінці. Моделюючи ЗФ та обчислюючи величини Z та S до порушення руху та після прийняття диспетчерської дії, можна визначити швидкість реакції системи на ЗФ та ДД; ефективність ДД, а в кінцевому результаті – безпосередній економічний ефект від впровадження СДУМАТ.

Результати

Запропонована в статті модель реалізована в MathCAD. Приклад розрахунку випадкових величин, які були використані в описаній вище стохастичній математичній моделі, наведений на рис. 2. Зокрема, моделюються параметри \tilde{P}_i^j , q_i^j – кількість пасажирів що зайшли та вийшли відповідно, залежно від зміни графіка руху РО.

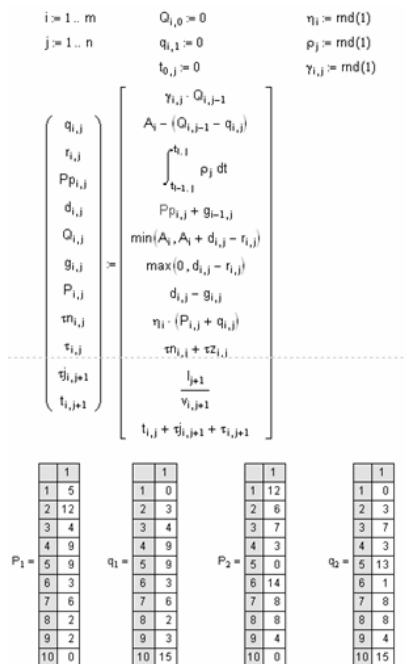


Рис. 2. Модель СДУМАТ в Mathcad

Fig. 2. Model of SDCMPT in Mathcad

На рис. 3 наведені результати моделювання.

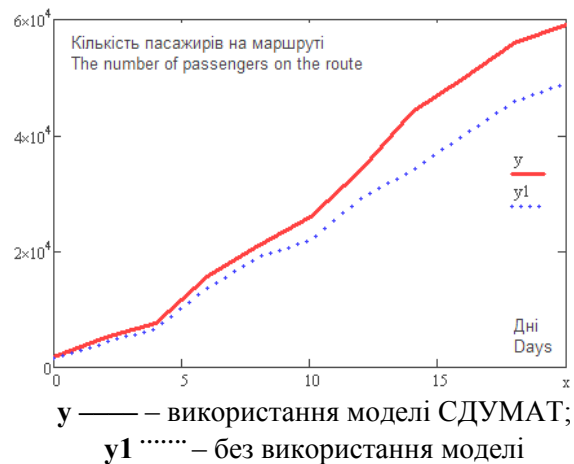


Рис. 3. Результати моделювання СДУМАТ в Mathcad

Fig. 3. The simulation results of SDCMPT in Mathcad

Впровадження одержаних результатів досліджень дало можливість значно підвищити якість транспортного обслуговування, зокрема на автобусних маршрутах № 203 та № 510 м. Києва.

Економічний ефект склав 3 730 та 4 500 грн на місяць, продуктивність маршрутів зросла на 7,1 та 8,3 %, відповідно.

Модель пасажиропотоку з використанням пакету Mathcad дозволила зробити висновки:

- запропонована математична модель є працездатною та дозволяє адекватно описувати процес руху рухомої одиниці по маршруту;
- використання пакету Mathcad в реальній практиці експлуатації СДУМАТ не є можливим, оскільки його застосування передбачає певну кваліфікацію користувача, отже подальша робота планується в напрямку розробки відповідного програмного продукту.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна результатів, наведених в статті, полягає в тому, що вперше розроблено модель для системи підтримки прийняття рішень диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом з урахуванням впливу найбільш значущих стохастичних чинників. Отримано систему рівнянь, яка моделює функціонування маршруту.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Практична значимість отриманих результатів полягає в тому, що розроблено додаток в середовищі MathCad для моделювання СДУМАТ. Додаток реалізує запропоновану модель, на основі якої вирішене практичне завдання вибору керуючих впливів для міських автобусних маршрутів.

Перспективи подальших досліджень полягають реалізації запропонованої моделі на алгоритмічних мовах високого рівня для перспективних СДУМАТ великих міст України, що дозволить диспетчеру миттєво оцінювати вплив збурюючих впливів (відхилення рухомої одиниці від розкладу, схід з лінії, погіршення умов руху, переповнення на маршруті) на розклад руху автобусів та маршрутних таксі.

Висновки

1. Виконано аналіз сучасних моделей для систем диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом. Показано, що детерміновані моделі, які використовуються в системах управління на автотранспорті, часто виявляються неадекватними реальним процесам перевезення пасажирів автобусами та маршрутними таксі, особливо у великих містах.

2. Запропоновано модель для систем диспетчерського управління міським пасажирським автотранспортом з врахуванням впливу найбільш значимих факторів. Отримано систему рівнянь, яка моделює параметру руху на автобусних маршрутах та дозволяє миттєво оцінювати вплив збурюючих впливів на показники якості обслуговування пасажирів та скласти оптимальний розклад руху транспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизированные системы управления на автомобильном транспорте : учебник для проф. образования / А. Б. Николаев, С. В. Алексахин, И. А. Кузнецов, В. Ю. Строганов ; под. ред. А. Б. Николаева. – Москва : Академия, 2013. – 288 с.
2. Дубова, С. В. Особенности развития пассажирского транспорта в Киеве / С. В. Дубова // Містобудування та територ. планування : наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва та архіт. – Київ, 2003. – Вип. 15. – С. 68–72.
3. Информационные технологии на автомобильном транспорте : учеб. пособие / В. М. Власов, А. Б. Николаев, А. В. Постолиит, В. М. Приходько ; под. ред. В. М. Приходько. – Москва : Наука, 2006. – 282 с.
4. Лахно, В. А. Использование объектно-ориентированных языков программирования для проектирования АСУ пассажирскими перевозками / В. А. Лахно, А. И. Пилипенко // Искусств. интеллект. – 2006. – № 4. – С. 201–210.
5. Лахно, В. А. Повышение эффективности систем управления автомобильным пассажирским транспортом методами стохастического моделирования : монография / В. А. Лахно, А. И. Пилипенко. – Луганск : Элтон-2, 2007. – 177 с.
6. Методика имитационного моделирования работы городского транспорта / В. Н. Галушко, В. Д. Левчук, И. В. Максимей [и др.] // Электрон. моделирование. – 2006. – № 2. – С. 79–95.
7. Постолиит, А. В. Информационное обеспечение автотранспортных систем : учеб. пособие / А. В. Постолиит, В. М. Власов, Д. Б. Ефименко. – Москва : МАДИ, 2004. – 241 с.
8. Телематика на автомобильном транспорте : учеб. пособие / В. М. Власов, С. В. Жанказиев, А. Б. Николаев, В. М. Приходько ; под. ред. В. М. Приходько. – Москва : МАДИ, 2003. – 173 с.
9. Continuing Evolution of Travel Time Data Information Collection and Processing / Ph. Tarnoff, D. Bullock, S. Young [et al.] // Transportation Research Board Annual Meeting. TRB. – 2009. – Vol. 1, № 2. – P. 23–45.
10. Dynamic Traffic Light Sequence Algorithm Using RFID / A. S. Khalid, Al-Khateeb, A. Y. Jaiz [et al.] // J. of Computer Science. – 2008. – № 4 (7). – P. 517–524. doi : 10.3844/jcssp.2008.517.524.
11. Horowitz, R. Control design of an automated highway system / R. Horowitz, P. Varaiya // Proc. of the IEEE. – 2000. – Vol. 88. – Iss. 7. – P. 913–925. doi: 10.1109/5.871301.
12. Tyagi, V. Vehicular Traffic Density State Estimation Based on Cumulative Road Acoustics / V. Tyagi, S. Kalyanaraman, R. Krishnapuram // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2012. – Vol. 13. – Iss. 3. – P. 1156–1166. doi: 10.1109/TITS.2012.2190509.
13. Transport Logistics. Shared solution to common challenges [Електронний ресурс]. – Paris : Organization for economic cooperation and development, 2002. – Режим доступу: <http://www.internationaltransportforum.org/pub/pdf/02LogisticsE.pdf>. – Назва з екрана. – Перевірено : 14.03.2016.
14. Williams, J. C. Urban Traffic Network Flow Models / J. C. Williams, H. S. Mahmassani, R. Herman // Transportation Research Record. Transportation Research Board. – 1987. – № 1 (8). – P. 256–269.

В. А. ЛАХНО^{1*}, В. М. СОБЧЕНКО^{2*}

^{1*}Каф. «Организация комплексной защиты информации», Европейский университет, бульв. академика Вернадского, 16-В, Киев, Украина, 03115, тел. +38 (044) 276 52 51, эл. почта valss21@ukr.net, ORCID 0000-0001-9695-4543

^{2*}Каф. «Информационные системы и математические дисциплины», Европейский университет, бульв. академика Вернадского, 16-В, Киев, Украина, 03115, тел. +38 (044) 423 00 78, эл. почта floydrose@i.ua, ORCID 0000-0002-2018-5511

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМ ПАССАЖИРСКИМ АВТОТРАНСПОРТОМ

Цель. Научная работа посвящена дальнейшему развитию математических моделей и алгоритмов для автоматизированных систем поддержки принятия решений диспетчерского управления городским пассажирским автотранспортом. **Методика.** Системы диспетчерского управления городским пассажирским автотранспортом предназначены обеспечить выполнение расписания движения с минимальными отклонениями от запланированного с помощью использования соответствующих диспетчерских воздействий. Алгоритм систем ориентирован на выбор диспетчерских воздействий, которые компенсируют возмущающие воздействия. В качестве критерия оценки работы систем диспетчерского управления предложено использовать показатель минимума времени ожидания пассажирами автобусов и маршрутных такси на остановках. **Результаты.** На основе проведенного анализа предшествующих исследований, в рамках существующей теории движения потоков автотранспорта, предложена модель для системы диспетчерского управления городскими пассажирскими подвижными единицами с учетом влияния наиболее значимых стохастических факторов на график движения автобусов и маршрутных такси в больших городах. Получена система уравнений, которая моделирует параметры движения подвижных единиц на автобусных маршрутах, позволяет мгновенно оценивать влияние возмущающих воздействий на показатели качества обслуживания пассажиров и, при необходимости, составлять оптимальное расписание движения. **Научная новизна.** Авторами предложена новая модель для систем поддержки принятия решений диспетчерского управления городским пассажирским автотранспортом с учетом влияния наиболее значимых стохастических факторов, в частности таких, как переполнение пассажирами автобусов и маршрутных такси, их сход с линии, отклонение от расписания и скоростного режима на маршруте и т.д., на показатели качества обслуживания. Модель позволяет также оптимизировать расписание движения. **Практическая значимость.** Результаты работы позволяют усовершенствовать подходы к построению моделей, используемых в системах диспетчерского управления городскими автобусными маршрутами, а также усовершенствовать выбор управляющих воздействий для подобных систем в больших городах Украины.

Ключевые слова: автоматизированные системы; диспетчерское управление; математическая модель; алгоритм управления; городской пассажирский автотранспорт

V. A. LAKHNO^{1*}, V. M. SOBCHENKO^{2*}

^{1*}Dep. «Complex Information Security Organization», European University, Academician Vernadskiy Blvd., 16-V, Kyiv, Ukraine, 03115, tel. +38 (044) 276 52 51, e-mail valss21@ukr.net, ORCID 0000-0001-9695-4543

^{2*}Dep. «Information Systems and Mathematical Disciplines», European University, Academician Vernadskiy Blvd., 16-V, Kyiv, Ukraine, 03115, tel. +38 (044) 423 00 78, e-mail floydrose@i.ua, ORCID 0000-0002-2018-5511

THE AUTOMATIC SYSTEM'S MODEL OF DECISION-MAKING SUPPORT FOR DISPATCHING CONTROL OF THE CITY PASSENGER TRAFFIC

Purpose. This scientific work considers the further development of mathematical models and algorithms for automatic decision support for dispatching management of the city passenger traffic. **Methodology.** Systems of dispatching management for the city passenger transport are to provide the carrying out of the routes according schedules with minimal deviations from the planned ones through the using of appropriate control actions. The systems' algorithm focuses on the selection of control actions that compensate the disturbances. It is proposed to use the in-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

dex of the waiting time minimum for passengers of buses and taxis at stops as a criterion for evaluating of dispatching control systems work. **Findings.** Based on the conducted analysis of the research within the existing theory of traffic flow of vehicles, it was proposed the model for the system of dispatching management for urban passenger moving units considering the effect of the most important stochastic factors on the schedule of buses and taxis movement in large cities. The obtained system of equations that models the parameter of movement on the bus routes allows you to assess quickly the influence of disturbing effects on the service quality indicators of passengers and, if necessary, to draw up the optimal schedule. **Originality.** The authors propose a new model for decision support of dispatching management for the city passenger transport. They take into account the effect of the most important stochastic factors, such as the overflowing buses and taxis, their descent from the lines, delays, deviations from the speed limit on the route, etc., on indicators of service quality, as well as optimizing the schedule. **Practical value.** The results allow to improve approaches to building models using in the systems of dispatching management of urban bus routes, as well as to improve the selection of control actions for similar systems in large cities of Ukraine.

Keywords: automatic systems; dispatching control; model; control algorithm; public passenger vehicles

REFERENCES

1. Nikolayev A.B., Aleksakhin S.V., Kuznetsov I.A., Stroganov V.Yu. *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya na avtomobilnom transporte* [Automated control systems on the motor transport]. Moscow, Akademiya Publ., 2013. 288 p.
2. Dubova S.V. Osobennosti razvitiya passazhirskogo transporta v Kiyevе [Features of development of passenger transport in Kiyev]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia* [Town planning and territorial planning], 2003, no. 15, pp. 68–62.
3. Vlasov V.M., Nikolayev A.B., Postolit A.V., Prikhodko V.M. *Informatsionnye tekhnologii na avtomobilnom transporte* [Information technologies on automobile transport]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 282 p.
4. Lakhno V.A., Pilipenko A.I. Ispolzovaniye obektno-oriyentirovannykh yazykov programmirovaniya dlya proyektirovaniya ASU passazhirskimi perevozkami [Use of object-oriented programming languages for design of ACS passenger traffic]. *Iskusstvennyy intellekt – Artificial Intelligence*, 2006, no. 4, pp. 201–210.
5. Lakhno V.A., Pilipenko A.I. *Povysheniye effektivnosti sistem upravleniya avtomobilnym passazhirskim transportom metodami stokhasticheskogo modelirovaniya* [Increase of efficiency of control systems of passenger motor vehicles of methods of stochastic modeling]. Luhansk, Elton-2 Publ., 2007. 177 p.
6. Galushko V.N., Levchuk V.D., Maksimey I.V., Mogila V.S., Chechet P.L. Metodika imitatsionnogo modelirovaniya raboty gorodskogo transporta [Imitating modeling technique of the city transport work]. *Elektronnoye modelirovaniye – Electronic Modeling*, 2006, no. 2, pp. 79–95.
7. Postolit A.V., Vlasov V.M., Yefimenko D.B. *Informatsionnoye obespecheniye avtotransportnykh sistem* [Information support of motor transportation systems]. Moscow, MADI Publ., 2004. 241 p.
8. Vlasov V.M., Zhankazyev S.V., Nikolayev A.B., Prikhodko V.M. *Telematika na avtomobilnom transporte* [Automatic locomotive signaling and automatic control]. Moscow, MADI Publ., 2003. 173 p.
9. Tarnoff Ph., Bullock D., Young S., Wasson J., Ganig N., Sturdevant J. Continuing Evolution of Travel Time Data Information Collection and Processing. *Transportation Research Board Annual Meeting*, 2009, vol. 1, no. 1, pp. 23–45.
10. A. S. Khalid, Al-Khateeb, A. Y. Jaiz, W. F. Johari, Al-Khateeb. Dynamic Traffic Light Sequence, Science Publications. *Journal of Computer Science*, 2008, no. 4 (7), pp. 517–524.
11. Horowitz R., Varaiya P. Control design of an automated highway system. *In Proceedings of the IEEE*, 2000, vol. 88, pp. 913–925.
12. Tyagi V., Kalyanaraman S., Krishnapuram R. Vehicular Traffic Density State Estimation Based on Cumulative Road Acoustics. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2012, vol. 6, pp. 456–468.
13. Transport Logistics. Shared solution to common challenges Electronic data. Available at: <http://www.internationaltransportforum.org/pub/pdf/02LogisticsE.pdf> / (2002) (Accessed 27 March 2016).
14. Williams J.C., Mahmassani H.S., Herman R. Urban Traffic Network Flow Models. *Transportation Research Record. Transportation Research Board*, 1987, no. 1 (8), pp. 256–269.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О. Г. Корченком (Україна); д.т.н., проф. В. І. Шинкаренком (Україна)

Надійшла до редколегії: 29.01.2016

Прийнята до друку: 31.03. 2016

УДК 656.222.4

С. М. ОВЧАРЕНКО^{1*}

^{1*}Відділ автоматизації диспетчерських центрів управління перевізним процесом, Філія «Проектно-конструкторське технологічне бюро інформаційних технологій» ПАТ «Укрзалізниця», вул. Жилянська, 97, Київ, Україна, 01135, тел. +38 (067) 218 28 35, ел. пошта sergiy@ovcharenko.in.ua, ORCID 0000-0002-7464-0153

АНАЛІЗ ГРАФІКА ВИКОНАНОГО РУХУ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ПАТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ»: ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Мета. Система аналізу графіка виконаного руху (АГВР) в інформаційній системі ПАТ «Укрзалізниця» забезпечує роботу з пасажирськими і приміськими поїздами та має значний потенціал розвитку. Тому в науковій роботі необхідно встановити перспективи розвитку цієї системи. **Методика.** Встановлення господарств і причин затримок поїздів має здійснюватися по кожній станції та перегону, де мали місце такі затримки. Для цього необхідна фіксація відхилень стану об'єктів інфраструктури від нормального стану, а також інших несприятливих факторів. У секторі вантажних перевезень недостатньо аналізувати тільки графік руху поїздів, оскільки такий аналіз не враховує відхилень від термінів доставки вантажів. Тому варто також здійснювати аналіз графіків доставки вантажів. Основою моніторингу процесу доставки вантажів є метод контрольно-часових точок (КЧТ) технологічних операцій, що виконуються з вантажем на залізничних станціях. На основі методу КЧТ для оцінки якості транспортного процесу виконується розрахунок показників аналізу графіка доставки вантажів (рівень виконання графіка доставки вантажів, коефіцієнт нагону/сповільнення доставки). **Результати.** Запропоновано систему АГВР розвивати шляхом: 1) реалізації введення та відображення причин затримок поїздів в оперативному режимі працівниками господарства перевезень; 2) розширення статистичної бази даних та обробки оперативного введення причин затримок при її розрахунку; 3) здійснення аналізу графіка виконаного руху вантажних поїздів; 4) оцінки рівня якості виконання графіка доставки вантажів. Також вважається за доцільне до появи нових операторських компаній внести зміни до діючої інструкції ЦЧУ-ЦД-0002 щодо переліку господарств, за якими є затримки поїздів, шляхом додавання цього «господарства» до пункту «3 вини операторських компаній» та вказанням відповідних причин затримок. **Наукова новизна.** Удосконалено схему автоматизованого АГВР в інформаційній системі ПАТ «Укрзалізниця». Запропоновано якість доставки вантажів по певному полігону визначати за наступними рівнями: високий, задовільний, низький та наднизький. Розроблено графік для визначення рівнів якості доставки вантажів. **Практична значимість.** Реалізація запропонованих рішень дозволить удосконалити та покращити формування статистичної звітності з АГВР в ПАТ «Укрзалізниця».

Ключові слова: аналіз графіка виконаного руху; показники роботи; якість доставки вантажів; інформаційна система; автоматизоване робоче місце; система ведення; відображені моделі

Вступ

Аналіз графіка виконаного руху поїздів (АГВР) в Укрзалізниці здійснюється на підставі інструкції [2]. З метою зменшення затрат часу працівників служби статистики на аналіз графіка виконаного руху за рахунок автоматизації отримання та обробки необхідної інформації і автоматичного розрахунку звітних форм, а також підвищення оперативності отримання звітних даних для залізниці та Укрзалізниці розроблено систему аналізу графіка виконаного руху пасажирських та приміських поїздів, яка складається з компонентів:

- статистична база даних;
- сервери застосувань рівня залізниці та Укрзалізниці;

– автоматизовані робочі місця з аналізу графіка виконаного руху (АРМ АГВР) рівня дирекції залізничних перевезень, залізниці та Укрзалізниці;

– інформаційний портал (ЄКІП УЗ).

Схему інформаційного потоку при здійсненні аналізу графіка виконаного руху поїздів наведено на рис. 1.

Сервери застосувань забезпечують періодичний розрахунок статистичної бази даних, а також взаємодію з нею користувача (АРМ АГВР) для перегляду та внесення необхідних коригувань.

АРМ АГВР має три режими роботи: робочий, аналітичний та звітний. Забезпечує можливість рознесення запізнь за господарствами

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

та причинами по відправленні та прослідкуванні (дирекції, залізниці, Укрзалізниця), коригування будь-яких даних про поїзд, додавання та вилучення поїздів до (з) статистичної бази даних.

Система аналізу побудована таким чином, що дозволяє:

- працювати з операторами, що мають у своєму розпорядженні нитки руху поїздів;
- обробляти двогрупні (багатогрупні) пасажирські поїзди;
- аналізувати поїзди, які мають повторне надходження на полігон дирекції (залізниці, Укрзалізниця);
- виокремлювати інформацію без урахування тимчасово окупованих територій;
- формувати нові довідки (звіти) про виконану роботу на підставі статистичних даних;
- відслідковувати поопераційно наповнення статистичної бази даних.

Встановлення результируючих причин затримок поїздів за господарствами по полігонам вищого рівня здійснюється за алгоритмом, що наведений у роботі [9].

Через інформаційний портал формується книга аналізу графіка виконаного руху пасажирських та приміських поїздів ф. ДУ-27, звіт про виконання графіка руху поїздів ф. ДО-12 та додаток 1 до нього, добові відомості обліку поїздів та інші довідки.

Питання контролю доставки вантажів в інформаційних системах залізниць розглядається у роботах [3–7, 12–14], положення аналізу графіка руху вантажних поїздів та вантажів висвітлюються у працях [1, 9–11, 15–17], а у статті [8] запропоновані нові якісні показники експлуатаційної роботи – «рівень виконання графіка доставки вантажів» та «коефіцієнт нагону/сповільнення доставки».

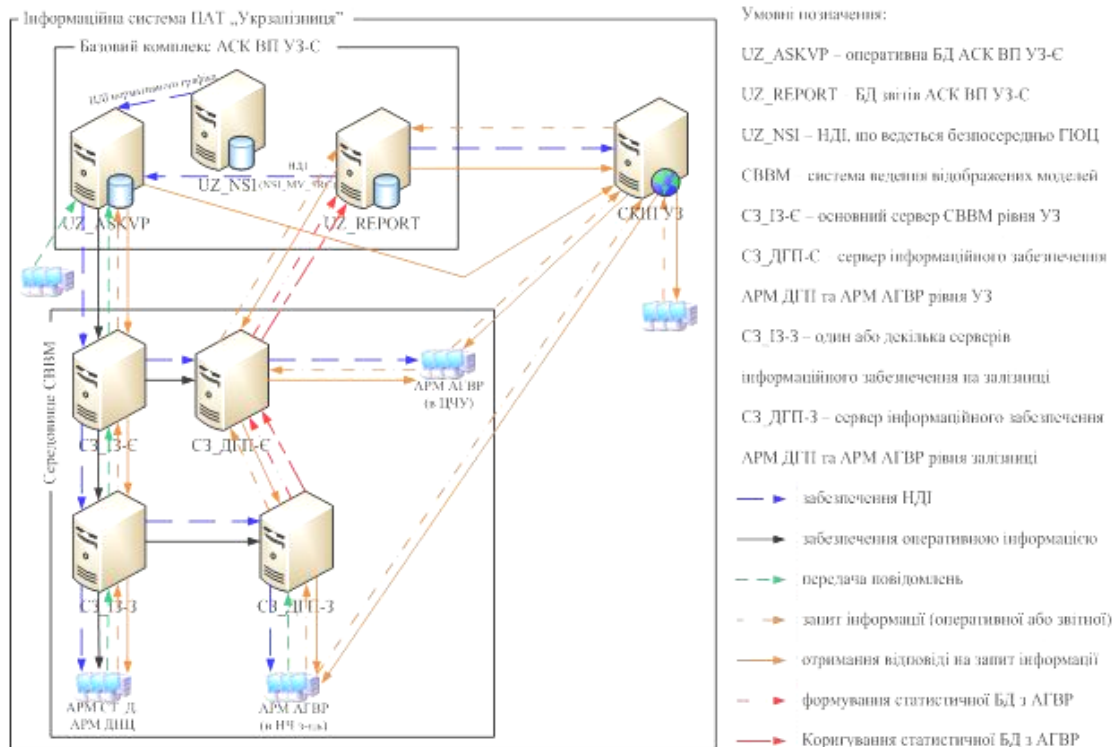


Рис. 1. Схема інформаційного потоку при здійсненні аналізу графіка виконаного руху поїздів

Fig. 1. The scheme of information flow in the analysis performed by the schedule of trains

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Мета

Система АГВР в інформаційній системі ПАТ «Укрзалізниця» забезпечує роботу з пасажирськими і приміськими поїздами та має значний потенціал розвитку. Тому необхідно визначити перспективи розвитку цієї системи в ПАТ «Укрзалізниця».

Методика

Реалізація введення та відображення причин затримок поїздів в оперативному режимі працівниками господарства перевезень, а також розширення статистичної бази даних та обробка оперативно введених причин затримок при її розрахунку дозволить не тільки покращити формування статистичної звітності з аналізу графіка виконаного руху пасажирських та приміських поїздів, а й створити передумови для повноцінного аналізу вантажних поїздів.

Встановлення господарств та причин затримок поїздів має здійснюватися по кожній станції та перегону, де мали місце такі затримки. Для цього необхідна фіксація відхилень стану об'єктів інфраструктури від нормального стану, а також інших несприятливих факторів (погода, надзвичайні події тощо). Встановлення господарств та причин затримок доцільно здійснювати через АРМ ДНЦ (поїзним диспетчером) та АРМ СТ_Д (черговим (оператором при черговому) по станції за дорученням поїзного диспетчера), що функціонують у середовищі ведення відображених моделей (СВВМ).

Діюча та перспективна схема автоматизованого АГВР наведена на рис. 2.

Діюча інструкція ЦЧУ-ЦД-0002 з АГВР [2] розрахована на наявність тільки одного оператора (УЗШК), тому вважається за доцільне до появи нових операторських компаній внести зміни до цієї інструкції щодо переліку господарств, за якими значаться затримки поїздів, шляхом додавання «господарства» «З вини операторських компаній» та відповідних причин затримок.

У секторі вантажних перевезень недостатньо аналізувати тільки графік руху поїздів, оскільки такий аналіз не враховує відхилень від термінів доставки вантажів, а тільки здійснюється аналіз до нормативних ниток графіка руху поїздів або виконання перегінних часів ходу. Тому варто також здійснювати аналіз графіків доставки вантажів.



Рис. 2. Схема автоматизованого АГВР

Fig. 2. Scheme of automated TSA (Train sheet analysis)

Основою моніторингу процесу доставки вантажів є метод контрольно-часових точок (КЧТ) технологічних операцій, що виконуються з вантажем на залізничних станціях.

Розрахунок КЧТ здійснюється на етапі планування перевезення (переважно) або по факту надходження вантажу (якщо розрахунок не виконано раніше).

Вхідними даними для розрахунку є пункти зародження та погашення вантажопотоку, вантаж, час прийому до перевезення та термін ДВ.

На підставі вхідних даних визначається маршрут прямуювання та встановлюється принципова схема ДВ залізничним транспортом України. Відповідно до принципової схеми визначаються обов'язкові контрольні точки (основи ГДВ), за якими буде здійснюватися контроль виконання часу доставки [7].

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

При розрахунку нормативного (планового) часу для контрольної точки враховується: нормативний графік руху поїздів, що розроблений згідно з планом формування поїздів; діючі обмеження швидкості руху поїздів та заплановані «вікна» для виконання будівельно-ремонтних робіт; пропускна спроможність станцій, дільниць; встановлений час передачі вантажу вантажоодержувачу або здачі його на вихідному стиковому пункті (припортовій станції) Укрзалізниці.

Планові та фактичні КЧТ мають допуски часу на виконання операцій, тобто $KЧТ \pm \Delta KЧТ$ утворює інтервал допустимого значення операції. Аналогічно інтервал часу виконання операції та допуск часу на інтервал виконання операції $\tau + \Delta\tau$ утворюють допустимий інтервал виконання операції.

Різниця між допустимими значеннями фактичної та планової операції є відхиленням фактичної КЧТ від планової. Для цього відхилення встановлюється його рівень: допустимий, передкритичний, критичний або надкритичний. Відповідний статус отримують і ситуації процесу доставки вантажів. Якщо статус відмінний від допустимого, то розробляється управлінський вплив (УВ) і призначається ситуаційна КЧТ. Під УВ розуміється дія або комплекс дій, які повинен виконати диспетчерський апарат для введення у графік одиниці вантажу, що доставляється.

Ситуаційні КЧТ порівнюються аналогічно звичайним КЧТ: встановлюється рівень відхилення і залежно від нього здійснюється перехід до планових КЧТ або розробляється нова ситуаційна КЧТ і УВ.

На основі методу КЧТ для оцінки якості транспортного процесу виконується розрахунок показників аналізу графіка доставки вантажів [8]:

- рівень виконання графіка доставки вантажів (РДВ): в цілому по полігону, у транзитному, місцевому сполученнях, на прибуття тощо;
- коефіцієнт нагону/ сповільнення доставки (КД): в цілому по полігону, у транзитному, місцевому сполученнях тощо.

Якість доставки вантажів по певному полігону варто визначати за такими рівнями: високий, задовільний, низький та наднизький. Для встановлення конкретного рівня якості пропонується порівняти значення показників КД та

абсолютного РДВ вихідного потоку згідно з графіком, що наведений на рис. 3. Цей графік складений на підставі обробки та аналізу даних бази даних з обліку перевезень вантажів з економічною оцінкою показників роботи в системі АСК ВП УЗ-Є за 10 днів 2014 року (11–20.12.2014).

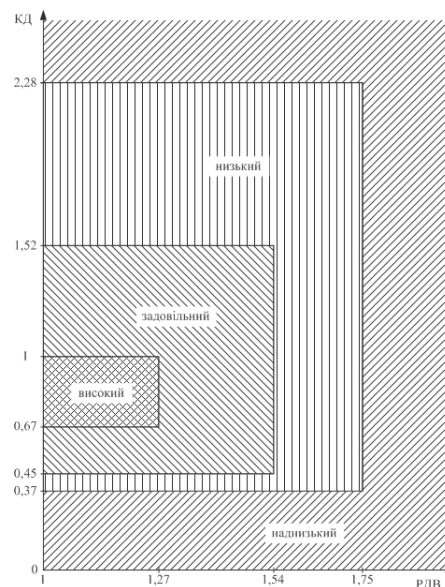


Рис. 3. Графік рівнів якості доставки вантажів

Fig. 3. Quality levels graph of cargo delivery

Результати розрахунку рівня якості доставки вантажів на полігоні Укрзалізниці наведено у табл. 1. У загальному рівень якості задовільний, проте у внутрішньому та імпортному сполученнях він низький.

Таблиця 1

Рівень якості доставки вантажів на полігоні Укрзалізниці

Table 1

Quality level of cargo delivery by Ukrzaliznytsia

| Сполучення | Показник | | |
|------------|----------|--------|---------------|
| | КД | РДВ | Рівень якості |
| Внутрішнє | 0,7485 | 1,5514 | Низький |
| Імпортне | 0,4538 | 1,6017 | Низький |
| Експортне | 0,6839 | 1,4804 | Задовільний |
| Транзитне | 0,6226 | 1,4716 | Задовільний |
| Всього | 0,7061 | 1,5143 | Задовільний |

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Результати

Подальший розвиток системи аналізу графіка виконаного руху передбачається у таких напрямках:

- реалізація введення та відображення причин затримок поїздів в оперативному режимі працівниками господарства перевезень;
- розширення статистичної бази даних та обробка оперативно введених причин затримок при її розрахунку;
- аналіз графіка руху вантажних поїздів;
- оцінка рівня якості виконання графіка доставки вантажів.

Також вважається за доцільне до появи нових операторських компаній внести зміни до інструкції ЦЧУ-ЦД-0002 щодо переліку господарств, за якими значаться затримки поїздів, шляхом додавання «господарства» «З вини операторських компаній» та відповідних причин затримок.

Наукова новизна та практична значимість

Удосконалено схему автоматизованого АГВР в інформаційній системі ПАТ «Укрзалізниця».

Запропоновано якість доставки вантажів по певному полігону визначати за рівнями: високий, задовільний, низький та наднизький. Розроблено графік для визначення рівнів якості доставки вантажів.

Реалізація запропонованих рішень дозволить удосконалити та покращити формування статистичної звітності з АГВР в ПАТ «Укрзалізниця».

Висновки

1. Розроблено вдосконалену схему автоматизованого АГВР в інформаційній системі ПАТ «Укрзалізниця» та запропоновано напрямки розвитку цієї системи, що дозволить удосконалити та покращити формування статистичної звітності з АГВР в ПАТ «Укрзалізниця».

2. Запропоновано зміни до інструкції ЦЧУ-ЦД-0002 щодо переліку господарств, за якими значаться затримки поїздів, шляхом додавання «господарства» «З вини операторських компаній» та відповідних причин, що необхідні для підготовки до збільшення кількості опера-

торських компаній, які мають у розпорядженні нитки руху поїздів.

3. Крім аналізу графіка виконаного руху поїздів, має виконуватися аналіз графіка доставки вантажів шляхом розрахунку показників «рівень виконання графіка доставки вантажів» та «коефіцієнт нагону/ сповільнення доставки», що дозволить здійснювати оцінку рівня якості виконання графіка доставки вантажів і краще розуміти стан справ із своєчасністю доставки вантажів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Висоцька, Г. С. Технологічне забезпечення міжнародних залізничних перевезень на основі закономірностей формування вантажопотоків : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Висоцька Галина Сергіївна / Держ. екон.-технолог. ун-т трансп. – Київ, 2013. – 227 с.
2. Інструкція з обліку і аналізу виконання графіка руху пасажирських, приміських та вантажних поїздів : ЦЧУ-ЦД-0002 : затв. наказом Укрзалізниці 18.11.2010 р. № 747-Ц. – Київ : Інпрес, 2011. – 62 с.
3. Кириченко, А. І. Концепція інтелектуальної транспортної системи управління процесами доставки вантажу / А. І. Кириченко // Заліз. трансп. України. – 2013. – № 1. – С. 37–40.
4. Кириченко, А. І. Проблематика застосування інформаційних технологій в управлінні процесами доставки вантажу / А. І. Кириченко // Проблеми транспорту : зб. наук. пр. / Нац. трансп. ун-т. – Київ, 2012. – Вип. 9. – С. 17–27.
5. Мацюк, В. І. Скорочення строків доставки вантажів залізничним транспортом / В. І. Мацюк, О. А. Горєцький // Проблеми транспорту : зб. наук. пр. / Нац. трансп. ун-т. – Київ, 2011. – Вип. 8. – С. 146–149.
6. Миронов, А. Ю. О мерах по обеспечению безопасности перевозок через повышение качества эксплуатационной работы железных дорог и сокращению сроков доставки / А. Ю. Миронов // Транспорт: наука, техника, управление / ВИНТИ. – 2009. – № 11. – С. 24–26.
7. Моніторинг процесів доставки вантажів методом призначення контрольно-часових точок / О. Л. Петрашевський, Г. І. Кириченко, О. В. Алексеєнко [та ін.] // Вісн. Нац. трансп. ун-ту. – 2014. – № 29. – С. 308–317.
8. Овчаренко, С. Н. Показатели качества выполнения графика доставки грузов железнодорожным транспортом / С. Н. Овчаренко // Сб. науч. тр. SWorld. – Иваново : Маркова АД, 2015. – Вып. 1 (38), т. 1. – С. 4–8.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

9. Овчаренко, С. Н. Разработка положений анализа графика доставки грузов железнодорожным транспортом / С. Н. Овчаренко // Науч. тр. SWorld. – Иваново : Науч. мир, 2015. – Вып. 2 (39), т. 1. – С. 4–11.
10. Поліщук, Д. О. Комплексне оцінювання стану та якості функціонування залізничних станцій / Д. О. Поліщук // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 1 (49). – С. 112–124. doi: 10.15802/stp2014/22674.
11. Резервы времени при организации движения грузовых поездов по расписанию / Д. Н. Козаченко, Н. И. Березовый, В. О. Баланов, В. В. Журавель // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 2 (56). – С. 105–115. doi: 10.15802/stp2015/42170.
12. Титов, Г. Б. Методика оценки вероятности своевременной доставки груза железнодорожным транспортом / Г. Б. Титов // Изв. Петербург. гос. ун-та путей сообщ. – 2013. – Вып. 2 (35). – С. 81–86.
13. Феофилов, А. Н. Разработка информационной технологии, обеспечивающей выполнение нормативных сроков доставки грузов / А. Н. Феофилов // Вестн. ВНИИЖТа. – 2007. – № 6. – С. 14–17.
14. Формування інструментів логістичного забезпечення перевезень вантажів на залізниці / В. Р. Івашук, Г. І. Кириченко, М. М. Кузнецов, О. В. Петриковець // Заліз. трансп. України. – 2011. – № 5. – С. 20–23.
15. Burdett, R. Determining operations affected by delay in predictive train timetables / R. Burdett, E. Kozan // Computers & Operations Research. – 2014. – Vol. 41. – P. 150–166. doi: 10.1016/j.cor.2013.08.011.
16. Susceptibility of optimal train schedules to stochastic disturbances of process times / R. Larsen, M. Pranzo, A. D'Ariano [et al.] // Flexible Services and Manufacturing J. – 2014. – Vol. 26. – Iss. 4. – P. 466–489. doi: 10.1007/s10696-013-9172-9.
17. Zhu, E. Scheduled Service Network Design for Freight Rail Transportation / E. Zhu, T. G. Crainic, M. Gendreau // Operations Research. – 2014. – Vol. 62. – Iss. 2. – P. 383–400. doi: 10.1287/opre.2013.1254.

С. Н. ОВЧАРЕНКО^{1*}

^{1*}Отдел автоматизации диспетчерских центров управления перевозочным процессом, Филиал «Проектно-конструкторское технологическое бюро информационных технологий» ПАО «Укрзализныця», ул. Жилинская, 97, Киев, Украина, 01135, тел. +38 (067) 218 28 35, эл. почта sergiy@ovcharenko.in.ua, ORCID 0000-0002-7464-0153

АНАЛИЗ ГРАФИКА ИСПОЛНЕННОГО ДВИЖЕНИЯ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПАО «УКРЗАЛИЗНЫЦЯ»: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Цель. Система анализа графика исполненного движения (АГИД) в информационной системе ПАО «Укрзализныця» обеспечивает работу с пассажирскими и пригородными поездами, имеет значительный потенциал развития. Поэтому в научной работе необходимо установить перспективы развития этой системы. **Методика.** Установление хозяйств и причин задержек поездов должно осуществляться по каждой станции и перегону, где имели место такие задержки. Для этого необходима фиксация отклонений состояния объектов инфраструктуры от нормального состояния, а также других неблагоприятных факторов. В секторе грузовых перевозок недостаточно анализировать только график движения поездов, поскольку такой анализ не учитывает отклонений от сроков доставки грузов. Поэтому стоит также осуществлять анализ графиков доставки грузов. Основой мониторинга процесса доставки грузов является метод контрольно-временных точек (КВТ) технологических операций, выполняемых с грузом на железнодорожных станциях. На основании метода КВТ для оценки качества транспортного процесса выполняется расчет показателей анализа графика доставки грузов (уровень выполнения графика доставки грузов, коэффициент нагона/замедления доставки). **Результаты.** Предложено систему АГИД развивать путем: 1) ввода и отражения причин задержек поездов в оперативном режиме работниками хозяйства перевозок; 2) расширения статистической базы данных и обработки оперативно введенных причин задержек при ее расчете; 3) осуществление анализа графика выполненного движения грузовых поездов; 4) оценки уровня качества выполнения графика доставки грузов. Также считается целесообразным до появления новых операторских компаний внести изменения в действующую инструкцию ЦЧУ-ЦД-0002 относительно

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

перечня хозяйств, по которым есть задержки поездов, путем добавления этого «хозяйства» в пункт «По вине операторских компаний» и указанием соответствующих причин задержек. **Научная новизна.** Автором усовершенствована схема автоматизированного АГИД в информационной системе ПАО «Укрзализныця». Предложено качество доставки грузов на определенном полигоне определять по следующим уровням: высокий, удовлетворительный, низкий и сверхнизкий. Разработан график для определения уровней качества доставки грузов. **Практическая значимость.** Реализация предложенных решений позволит усовершенствовать и улучшить формирование статистической отчетности с АГИД в ПАО «Укрзализныця».

Ключевые слова: анализ графика исполненного движения; показатели работы; качество доставки грузов; информационная система; автоматизированное рабочее место; система ведения; отраженные модели

S. M. OVCHARENKO^{1*}

^{1*}Dep. of Dispatching centers automation of transportation process management, Branch «Project and Design Technological Bureau of Information Technologies», JSC «Ukrzaliznytsia», Zhylianska St., 97, Kyiv, Ukraine, 01135, tel. +38 (067) 218 28 35, e-mail sergiy@ovcharenko.in.ua, ORCID 0000-0002-7464-0153

ANALYSIS OF TRAIN SHEET IN THE INFORMATION SYSTEM OF JSC «UKRZALIZNYTSIA»: PERSPECTIVE

Purpose. The system of train sheet analysis (TSA) in the information system of JSC «Ukrzaliznytsia» provides work with passenger and suburban trains and has considerable potential. Therefore it is necessary to establish the prospects of development of the system. **Methodology.** Departments' setup and the train delay causes should be carried out at every station and span, where such delays took place. This requires the fixation of condition deviations of infrastructure from normal and other adverse factors. In the sector of freight transportations the train schedule analysis is insufficient, since this analysis does not account for deviations from the terms of delivery. Therefore it also is necessary to analyze the delivery graphs. The basis for monitoring the cargo delivery is the method of control time points (CTP) of technological operations performed with cargo at railway stations. On the basis of CTP to assess the quality of the transport process one should calculate the values of the analysis of cargo delivery schedule (performance level of the cargo delivery schedule, the coefficient of ahead of schedule/delay delivery). **Findings.** The article proposes to develop the system TSA using the input and display of the train delay causes on-line by transportation service employees, expansion of statistical databases and processing of the input delay causes during its calculation train sheet analysis of freight trains and quality assessment of the delivery schedule fulfillment. It is also appropriate before the new operator companies had appeared to make changes in the instructions TSCHU-TSD-0002 on the list of departments, which include delayed trains, by adding «the department» «The fault of operator companies» and corresponding causes of delays. **Originality.** The scheme of automated TSA in the information system of JSC «Ukrzaliznytsia» was improved. The author proposes to determine the cargo delivery quality on the certain polygon using the following levels: high, satisfactory, low and ultralow. A schedule to determine the levels of delivery quality was developed. **Practical value.** The implementation of the proposed solutions will improve and enhance the formation of statistical reporting of TSA in JSC «Ukrzaliznytsia».

Keywords: train sheet analysis; indicators of work; quality of cargo delivery; information system; automated workstation; support system; displayed models

REFERENCES

1. Vysotska H.S. *Tekhnologichne zabezpechennia mizhnarodnykh zaliznychnykh perevezhen na osnovi zakonmirnostei formuvannia vantazhopotokiv*. Kand., Diss. [Operational support of international railway transportation based on the common factors of cargo flows formation. Cand. Diss.]. Kyiv, 2013. 227 p.
2. *Instruktsiia z obliku i analizu vykonannia hrafika rukhu pasazhyrskykh, prymyskykh ta vantazhnykh poizdiv TSCHU-TSD-0002* [Instruction for accounting and analysis of the timetable implementation of passenger, suburban and freight trains TSCHU-TSD-0002]. Kyiv, Inpress Publ., 2011. 62 p.
3. Kyrychenko A.I. Kontseptsiiia intelektualnoi transportnoi systemy upravlinnia protsesamy dostavky vantazhu [The concept of intellectual transport system for the management of cargo delivery processes]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2013, no. 1, pp. 37-40.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

4. Kyrychenko A.I. *Problematyka zastosuvannya informatsiinykh tekhnolohii v upravlinni protsesamy dostavky vantazhu* [Application problems of information technologies in the management of cargo delivery processes]. *Problemy transportu* [Transport problems], 2012, issue 9, pp. 17-27.
5. Matsiuk V.I., Horetskyi O.A. *Skorochennia strokiv dostavky vantazhiv zaliznychnym transportom* [Reduction of delivery terms of cargoes by rail]. *Problemy transportu* [Transport problems], 2011, issue 8, pp. 146-149.
6. Mironov A.Yu. *O merakh po obespecheniyu bezopasnosti perevozok cherez povysheniye kachestva ekspluatatsionnoy raboty zheleznykh dorog i sokrashcheniyu srokov dostavki* [On measures to ensure traffic safety by improving the quality of operational work of the railways and reduce delivery terms]. *Nauchnyy informatsionnyy sbornik «Transport. Nauka, tekhnika, upravleniye»* [Scientific Information Collection «Transport. Science, Technology, Management»], 2009, no. 11, pp. 24-26.
7. Petrashevskiy O.L., Kyrychenko H.I., Aliksieienko O.V., Ovcharenko S.M., Petrykovets O.V. *Monitorynh protsesiv dostavky vantazhiv metodom pryznachennia kontrolno-chasovykh tochok* [Monitoring of cargo delivery processes by the method of control-time points]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu* [Bulletin of the National Transport University], 2014, no. 29, pp. 308-317.
8. Ovcharenko S.N. *Pokazateli kachestva vypolneniya grafika dostavki gruzov zheleznodorozhnym transportom* [Quality indicators of compliance with schedule for cargoes delivery by rail]. *Sbornik nauchnykh trudov «SWorld»* [Proc. «SWorld»], 2015, issue 1 (38), vol. 1, pp. 4-8.
9. Ovcharenko S.N. *Razrabotka polozheniy analiza grafika dostavki gruzov zheleznodorozhnym transportom* [Provisions development of the schedule analysis for cargoes delivery by rail]. *Nauchnyye trudy «SWorld»* [Proc. «SWorld»], 2015, issue 2 (39), vol. 1, pp. 4-11.
10. Polishchuk D.O. *Kompleksne otsiniuvannya stanu ta yakosti funktsionuvannya zaliznychnykh stantsii* [Complex evaluation of the state and quality of railway station operating]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 1 (49), pp. 112-124. doi: 10.15802/stp2014/22674.
11. Kozachenko D.M., Berezovyi M.I., Balanov V.O., Zhuravel V.V. *Rezervy vremeni pri organizatsii dvizheniya gruzovykh poyezdov po raspisaniyu* [Time reserves during the organization of freight train movement according to schedule]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 2 (56), pp. 105-115. doi: 10.15802/stp2015/42170.
12. Titov G.B. *Metodika otsenki veroyatnosti svoeyvremennoy dostavki gruzha zheleznodorozhnym transportom* [Methods of assessing the probability of delivery of cargo by rail in time]. *Izvestiya Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Proc. of Petersburg State University of Communication Lines], 2013, no. 2 (35), pp. 81-86.
13. Feofilov A.N. *Razrabotka informatsionnoy tekhnologii, obespechivayushchey vypolneniye normativnykh srokov dostavki gruzov* [The development of information technology, which provides the normative terms of cargo delivery]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the All-Russian Research Institute of Railway Transport], 2007, no. 6, pp. 14-17.
14. Ivashchuk V.R., Kyrychenko H.I., Kuznetsov M.M., Petrykovets O.V. *Formuvannya instrumentiv lohistychnoho zabezpechennia perevezen vantazhiv na zaliznytsi* [Formation of the tools for logistics provision for railway cargo transportation]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2011, no. 5, pp. 20-23.
15. Burdett R., Kozan E. *Determining operations affected by delay in predictive train timetables*. *Computers & Operations Research*, 2014, vol. 41, pp. 150-166. doi: 10.1016/j.cor.2013.08.011.
16. Larsen R., Pranzo M., D'Arianol. *Susceptibility of optimal train schedules to stochastic disturbances of process times*. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 2014, vol. 26, issue 4, pp. 466-489. doi: 10.1007/s10696-013-9172-9.
17. Zhu E., Crainic T.G., Gendreau M. *Scheduled Service Network Design for Freight Rail Transportation*. *Operations Research*, 2014, vol. 62, issue 2, pp. 383-400. doi: 10.1287/opre.2013.1254.

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. В. І. Шинкаренком (Україна); к.т.н., доц. С. Ю. Цейтліним (Україна)

Надійшла до редколегії: 07.12.2015

Прийнята до друку: 28.03.2016

УДК 519.6

Ю. Д. ПОЛИССКИЙ^{1*}^{1*}НИИ автоматизации чёрной металлургии, ул. Короленко, 21, Днепропетровск, Украина, 49000,
тел. + 38 (056) 744 33 65, +38 (067) 706 83 11, эл. почта polissky@mail.ru, ORCID 0000-0001-5363-8145

О ВЫПОЛНЕНИИ СЛОЖНЫХ ОПЕРАЦИЙ В НЕПОЗИЦИОННОЙ СИСТЕМЕ СЧИСЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

Цель. Работа предполагает теоретическое обоснование методики повышения эффективности выполнения в непозиционной системе счисления остаточных классов сложных, так называемых немодульных, операций, для реализации которых необходимо знание цифр операндов по всем разрядам. **Методика.** Для достижения поставленной цели числа представляются в системе нечётных модулей, при этом результат выполнения операции определяется на основе установления чётности операндов. Определение чётности осуществляется путём нахождения суммы по модулю два значений позиционных характеристик числа по всем его модулям. Алгоритм получения позиционной характеристики включает итерации двух видов. Итерация первого вида состоит в переходе от данного числа к меньшему числу, в котором остатки по одному или нескольким модулям равны нулю. Достигается это вычитанием из всех остатков значения одного из них. Итерация второго вида состоит в переходе от данного числа к меньшему числу за счёт исключения модулей, остатки по которым равны нулю, путём деления данного числа на произведение этих модулей. Итерации выполняются до тех пор, пока остатки по одному, всем или некоторым модулям не окажутся равными нулю, а остальные модули будут исключены. Предлагаемая методика отличается своей простотой и позволяет быстро получить результат операции. **Результаты.** Получены весьма несложные решения немодульных операций определения выхода за пределы диапазона результата сложения или вычитания пары чисел, сравнения пары чисел, определения принадлежности числа данной половине диапазона, определения чётности чисел, представленных в непозиционной системе счисления остаточных классов. **Научная новизна.** Предложены новые эффективные подходы к решению немодульных операций системы счисления остаточных классов. Представляется целесообразным рассматривать данные подходы в качестве направления исследований по повышению эффективности модулярных вычислений. **Практическая значимость.** Рассмотренные решения обладают высоким быстродействием и могут быть эффективными при разработке модулярных вычислительных структур.

Ключевые слова: остаточные классы; число; сложные операции; позиционная характеристика; чётность числа; итерация

Введение

В настоящее время проводятся интенсивные исследования по повышению эффективности вычислений на основе представления чисел в системе остаточных классов (СОК) за счет параллельного выполнения операций над остатками [1, 13].

СОК называется система счисления, в которой произвольное число N представляется в виде набора наименьших неотрицательных остатков по модулям m_1, m_2, \dots, m_n , то есть

$$N = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n). \quad \text{Здесь} \quad \alpha_i = N \pmod{m_i}.$$

При этом, если числа m_i взаимно простые, то такому представлению соответствует только

одно число N диапазона $[0, M)$, где $M = m_1 m_2 \dots m_n$.

Преимущества остаточной арифметики подробно изложены в [2, 6, 12]. Однако, возникают определенные трудности [5] при реализации немодульных, так называемых сложных, операций, для выполнения которых необходимо знание цифр операндов по всем разрядам. В связи с важностью и актуальностью разработок по совершенствованию машинной арифметики СОК результаты этих работ систематически рассматривались в периодических научно-технических изданиях [3, 4, 7, 8, 10, 11, 14, 15].

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Цель

Целью данной работы является теоретическое обоснование методики повышения эффективности выполнения в непозиционной системе счисления остаточных классов сложных, так называемых немодульных, операций, для реализации которых необходимо знание цифр операндов по всем разрядам.

Методика

Значительное количество работ по повышению быстродействия сложных операций посвящено системам, в которых один из модулей равен двум. Вместе с тем немодульные операции определения выхода за пределы диапазона результата сложения или вычитания пары чисел, сравнения пары чисел, определения принадлежности числа данной половине диапазона весьма несложно могут быть выполнены в системе нечетных модулей. Так, для сложения или вычитания пары чисел результат определяется в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Определение результата сложения (вычитания) пары чисел

Table 1

Determination the result of addition (subtraction) of a number pair

| Число 1 | Число 2 | Сумма, Разность | Результат |
|---------|---------|-----------------|-----------|
| чт | чт | чт | 0 |
| чт | чт | нчт | 1 |
| чт | нчт | нчт | 0 |
| чт | нчт | чт | 1 |
| нчт | чт | нчт | 0 |
| нчт | чт | чт | 1 |
| нчт | нчт | чт | 0 |
| нчт | нчт | нчт | 1 |

В табл.1 «чт» и «нчт» обозначают четность и нечетность числа, «0» и «1» – выход и невыход результата за пределы диапазона соответственно.

Сравнение чисел осуществляется вычитанием одного числа из другого и определением

результата сравнения в соответствии с табл. 1. При этом результат «0» означает, что «Число 1» больше или равно «Числу 2», результат «1» – «Число 1» меньше «Числа 2».

Определение принадлежности чисел данной половине диапазона производится умножением чисел на 2. При этом все полученные произведения должны быть четными. Для чисел нижней половины диапазона произведения остаются четными, поскольку они не выходят за верхнюю границу диапазона. Для чисел верхней половины диапазона произведения выходят за верхнюю границу диапазона и, соответственно, они становятся нечетными.

Таким образом, реализация рассмотренных сложных операций основана на определении четности операндов.

Алгоритм определения четности числа в нечетной системе модулей состоит в следующем.

Пусть системой оснований полиадического кода также является система m_1, m_2, \dots, m_n .

Тогда число N в полиадическом коде представляется следующим образом

$$N = \pi_1 + \pi_2 m_1 + \dots + \pi_i m_1 m_2 \dots m_{i-1} + \dots + \pi_{n-1} m_1 m_2 \dots m_{n-2} + \pi_n m_1 m_2 \dots m_{n-1},$$

где $0 \leq \pi_i \leq m_i - 1$.

Поскольку все модули нечетные, четность N определяется значением

$$I = \pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_i + \dots + \pi_{n-1} + \pi_n.$$

Следовательно, метод базируется на получении суммы значений позиционных характеристик, определяемых в соответствии с выражением

$$N = \pi_1 + m_1 (\pi_2 + m_2 (\pi_3 + \dots + m_{i-1} (\pi_i + \dots + m_{n-2} (\pi_{n-1} \dots + m_{n-1} \pi_n))) \dots).$$

Разобьем диапазон M на m_i интервалов длины $m_1 m_2 \dots m_{i-1} m_{i+1} m_{n-1} m_n$ каждый.

$$N \in \begin{cases} P_0, & 0 \leq N_0 \leq \frac{M}{m_i} - 1, \\ P_1, & \frac{M}{m_i} \leq N_1 \leq \frac{2M}{m_i} - 1, \\ \dots, \\ P_t, & \frac{tM}{m_i} \leq N_t \leq \frac{(t+1)M}{m_i} - 1, \\ \dots, \\ P_{m_i-1}, & \frac{(m_i-1)M}{m_i} \leq N_{m_i-1} \leq M - 1. \end{cases}$$

Здесь P_t – t -й интервал, $t = 0, 1, 2, \dots, m_i - 1$.

Алгоритм получения позиционной характеристики включает итерации двух видов. Итерация первого вида состоит в переходе от данного числа N к меньшему числу \tilde{N} , в котором остатки по одному или нескольким модулям равны нулю. Достигается это вычитанием из всех остатков значения одного из них, $\tilde{N} = N - \alpha_s$, где $\alpha_s = N(\bmod m_s)$. Таким образом, полученное число становится кратным этим модулям. Поскольку $\alpha_s \leq N$, то при переходе от N к \tilde{N} число \tilde{N} не выходит из интервала N -го числа.

Итерация второго вида состоит в переходе от числа \tilde{N} к меньшему числу $\tilde{\tilde{N}}$ за счет исключения модулей, остатки по которым равны нулю, путем деления данного числа на произведение этих модулей. Поскольку при делении на модуль или произведение модулей как самого числа, так и границ интервала соотношение между ними не изменяется, число \tilde{N} не выходит из интервала \tilde{N} -го числа, а поскольку делитель – модуль или произведение модулей – число нечетное, четность $\tilde{\tilde{N}}$ совпадает с четностью \tilde{N} .

Итерации выполняются до тех пор, пока остатки по одному, всем или некоторым модулям из m_1, m_2, \dots, m_n не окажутся равными нулю, а остальные модули будут исключены, то есть

$$N = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \rightarrow \tilde{\tilde{N}}(0, \times).$$

При этом

$$I = \pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_i + \dots + \pi_{n-1} + \pi_n.$$

Рассмотрим итерацию первого вида подробнее. Пусть $N = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_s, \dots, \alpha_n)$. Образует число

$$\tilde{N} = \begin{pmatrix} \tilde{\alpha}_1 = \alpha_1 - \alpha_s, \tilde{\alpha}_2 = \alpha_2 - \alpha_s \\ -\alpha_s, \dots, \tilde{\alpha}_n = \alpha_n - \alpha_s \end{pmatrix}$$

вычитанием остатка α_s по модулю m_s из остатков по всем модулям числа N . Естественно, все числа \tilde{N} диапазона $[0, M)$ кратны модулю m_s , то есть вероятность $p(\tilde{\alpha}_s = 0) = 1$. При этом диапазон $[0, M)$ окажется разбитым на $K_1 = m_1 m_2 \dots m_{s-1} m_{s+1} \dots m_n$ интервалов длины m_s , внутри каждого из которых значения разностей одинаковы и кратны m_s . Может оказаться, что наряду с $\tilde{\alpha}_s = 0$ остатки по некоторому модулю m_s числа \tilde{N} также равны нулю, например, $\tilde{\alpha}_r = 0$, то есть число \tilde{N} кратно модулю m_r . Количество интервалов, внутри которых значения разностей кратны m_r , равно

$$K_2 = \frac{K_1}{m_r} = m_1 \dots m_{s-1} m_{s+1} \dots m_{r-1} m_{r+1} \dots m_n.$$

Поскольку в каждом интервале содержится m_s чисел, то общее количество чисел с $\tilde{\alpha}_r = 0$ равно $K = m_1 \dots m_{r-1} m_{r+1} \dots m_n$, то есть вероятность. $p(\tilde{\alpha}_r = 0 / \tilde{\alpha}_s = 0) = \frac{1}{m_r}$.

Будем называть модули m_1, m_2, \dots, m_n рабочими, а объем диапазона M рабочим. Введем ещё один – индикаторный модуль $m_0 = 2$, который не включается в состав рабочих модулей. То есть все действия над операндами выполняются только в системе рабочих модулей в пределах рабочего диапазона. Остаток $\alpha_0(\bmod m_0 = 2)$ предназначен лишь для индикации четности исследуемого числа в соответствии с

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$$I = \pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_i + \dots + \pi_{n-1} + \pi_n.$$

В табл. 2 представлена робота даного алгоритма (Алгоритм 1) определения четности числа $N = 4483 = (6, 3, 11, 3, 1)$ в системе модулей $m_1 = 11, m_2 = 7, m_3 = 13, m_4 = 5, m_5 = 3$.

Из табл. 2 видно, что остаток по индикаторному модулю $\alpha_0 = N(\bmod m_0) = 1$, то есть число $N = 4483$ – нечетное. Результат достигается за $T_1 = 7$ итераций.

Быстродействие операции определения четности числа можно увеличить на основе алгоритма (Алгоритм 2) с помощью представления

чисел в обратных кодах [10]. По данному алгоритму осуществляется одновременное представление чисел в прямом и обратном кодах с выбором на каждой итерации варианта, при котором один или несколько остатков равны нулю. Табл. 3 иллюстрирует процесс определения четности того же числа $N = 4483$ в той же системе модулей

$$m_1 = 11, m_2 = 7, m_3 = 13, m_4 = 5, m_5 = 3.$$

Таблица 2

Робота Алгоритма 1

Table 2

Work Algorithm 1

| Итерация 1 | Число | Модули | | | | | |
|------------|-------------|---------|---|----|---|---|--------|
| | | Рабочие | | | | | Индик. |
| | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 |
| | 4483 | 6 | 3 | 11 | 3 | 1 | 0 |
| | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 4482 | 5 | 2 | 10 | 2 | 0 | 1 |
| Итерация 2 | Число | Модули | | | | | |
| | | Рабочие | | | | | Индик. |
| | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 |
| | 4482 | 5 | 2 | 10 | 2 | 0 | 1 |
| | :3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 1 |
| Итерация 3 | Число | Модули | | | | | |
| | | Рабочие | | | | | Индик. |
| | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 |
| | 1494 | 9 | 3 | 12 | 4 | x | 1 |
| | -4 | 4 | 4 | 4 | 4 | x | 0 |
| Итерация 4 | Число | Модули | | | | | |
| | | Рабочие | | | | | Индик. |
| | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 |
| | 1490 | 5 | 6 | 8 | 0 | x | 1 |
| | :5 | 5 | 5 | 5 | 0 | x | 1 |
| Итерация 5 | Число | Модули | | | | | |
| | | Рабочие | | | | | Индик. |
| | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 |
| | 298 | 1 | 4 | 12 | x | x | 1 |
| | | | | | | | |

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Окончание табл. 2

End of table 2

| | | | | | | | |
|------------|----------|---------|---|----|---|---|--------|
| Итерация 5 | Число | Модули | | | | | |
| | | Рабочие | | | | | Индик. |
| | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 |
| | 298 | 1 | 4 | 12 | x | x | 1 |
| | -12 | 1 | 5 | 12 | x | x | 0 |
| Итерация 6 | 286 | 0 | 6 | 0 | x | x | 1 |
| | Число | Модули | | | | | |
| | | Рабочие | | | | | Индик. |
| | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 |
| | 286 | 0 | 6 | 0 | x | x | 1 |
| Итерация 7 | :(13*11) | 0 | 3 | 0 | x | x | 1 |
| | 2 | x | 2 | x | x | x | 1 |
| | Число | Модули | | | | | |
| | | Рабочие | | | | | Индик. |
| | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 |
| | 2 | x | 2 | x | x | x | 1 |
| | -2 | x | 2 | x | x | x | 0 |
| | 0 | x | 0 | x | x | x | 1 |

Сопоставление значений остатков в шестой строке блоков А и В показывает, что количество нулевых остатков в блоке В – больше, чем в блоке А. Поэтому принимаем блок В в качестве активного. Поскольку система модулей нечетная, смена активного блока не изменяет четность числа. В блоке В выполняем деление числа N на $(3*5*13)$. В одиннадцатой строке блока В величина делителя $(3*5*13)$ представлена своими остатками по соответствующим модулям. Результат деления одновременно записывается в двенадцатой строке обоих блоков.

Сопоставление значений остатков в двенадцатой строке блоков А и В показывает, что в блоке А имеется остаток $\alpha_1 = 0$ по модулю $m_1 = 11$. Поэтому принимаем блок А в качестве активного. В семнадцатой строке активного блока А величина делителя (11) представлена своими остатками по соответствующим модулям.

Результат деления одновременно записывается в восемнадцатой строке обоих блоков.

Из очередного сопоставления значений остатков в двадцать второй строке блоков А и В видно, что нулевые остатки в обоих блоках отсутствуют. Поэтому заключительная итерация состоит в вычитании значения остатка $\alpha_2 = 2$ по модулю $m_2 = 7$. Получаем на индикаторном модуле значение остатка $\alpha_0 = 1$.

Результат по данному алгоритму достигается за $T_2 = 4$ итерации, то есть в $\Theta = \frac{T_1}{T_2} = 1,75$ быстрее.

Таблица 3

Работа Алгоритма 2

Table 3

Work Algorithm 2

| Блок А | | | | | | | | Блок В | | | | | | | | | | |
|--------|-----------------|-------|---------|---|----|----|---|--------|-----------------|-------|---------|-----------|----|---|---|--------|---|---|
| 1 | Итера- ция 1 | Число | Модули | | | | | | Итера- ция 1 | Число | Модули | | | | | | | |
| 2 | | | Рабочие | | | | | Индик. | | | Рабочие | | | | | Индик. | | |
| 3 | | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 | | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 | | |
| 4 | | | 4483 | 6 | 3 | 11 | 3 | 1 | | | 0 | 10531 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 5 | | | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | | 4482 | 5 | 2 | 10 | 2 | 0 | 1 | | 10530 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | | |
| 7 | Итера- ция 2 | Число | Модули | | | | | | Итера- ция 2 | Число | Модули | | | | | | | |
| 8 | | | Рабочие | | | | | Индик. | | | Рабочие | | | | | Индик. | | |
| 9 | | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 | | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 | | |
| 10 | | | 4482 | 5 | 2 | 10 | 2 | 0 | | | 1 | 10530 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 11 | | | | | | | | | | | | :(3*5*13) | 8 | 6 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 12 | | | | | | | | | 54 | 10 | 5 | x | x | x | 1 | | | |
| 13 | Итера- ция 3 | Число | Модули | | | | | | Итера- ция 3 | Число | Модули | | | | | | | |
| 14 | | | Рабочие | | | | | Индик. | | | Рабочие | | | | | Индик. | | |
| 15 | | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 | | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 | | |
| 16 | | | 22 | 0 | 1 | x | x | x | | | 1 | 54 | 10 | 5 | x | x | x | 1 |
| 17 | | | :11 | 0 | 4 | x | x | x | | | 1 | | | | | | | |
| 18 | | 2 | x | 2 | x | x | x | 1 | | | | | | | | | | |
| 19 | Итера- ция 4 | Число | Модули | | | | | | Итера- ция 4 | Число | Модули | | | | | | | |
| 20 | | | Рабочие | | | | | Контр. | | | Рабочие | | | | | Контр. | | |
| 21 | | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 | | | 11 | 7 | 13 | 5 | 3 | 2 | | |
| 22 | | | 2 | x | 2 | x | x | x | | | 1 | 4 | x | 4 | x | x | 1 | |
| 23 | | | -2 | x | 2 | x | x | x | | | 0 | | | | | | | |
| 24 | | 0 | 0 | x | x | x | | 1 | | | | | | | | | | |

Результаты

Получены весьма несложные решения немодульных операций определения выхода за пределы диапазона результата сложения или вычитания пары чисел, сравнения пары чисел, определения принадлежности числа данной половине диапазона, определения чётности числа.

Научная новизна и практическая значимость

Предложены новые подходы к решению немодульных операций системы остаточных классов. Представляется целесообразным рассматривать данные подходы в качестве направления исследований по повышению эффективности модулярных вычислений. Рассмотренные решения обладают высоким быстродействием и могут быть реализованы при разработке модулярных вычислительных структур.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Выводы

Рассмотрены вопросы выполнения немодульных операций в системе остаточных классов. Показано, что эти операции могут быть достаточно несложно реализованы в системе нечетных модулей на основе определения четности операндов. Определение четности осуществляется путем нахождения суммы значений позиционных характеристик числа по модулю два. Алгоритм получения позиционной характеристики включает итерации двух видов: вычитание из всех остатков значения одного из них и исключения модулей, остатки по которым равны нулю. Рассмотренные решения обладают высоким быстродействием и могут быть реализованы при разработке модульных вычислительных структур. Представляется целесообразным рассматривать предложенные подходы в качестве направления исследований по повышению эффективности немодульных операций в системе остаточных классов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акушский, И. Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И. Я. Акушский, Д. И. Юдицкий. – Москва : Сов. радио, 1968. – 440 с.
2. Ирхин, В. П. Табличная реализация операций модулярной арифметики / В. П. Ирхин // 50 лет модулярной арифметики : тр. юбил. Междунар. науч.-техн. конф. (23.11–25.11.2005) / Моск. ин-т электрон. техники. – Москва, 2015. – С. 268–273.
3. Кнут, Д. Искусство программирования / Д. Кнут. – Москва : Диалектика-Вильямс, 2013. – 832 с.
4. Колесникова, Т. А. Интеграция украинской отраслевой научной периодики в мировое научно-информационное пространство: проблемы и решения / Т. А. Колесникова // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 6 (48). – С. 7–22. doi: 10.15802/stp2013/19835.
5. Магомедов, Ш. Г. Преобразование представлений чисел в модулярной арифметике в системах остаточных классов с разными основаниями / Ш. Г. Магомедов // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Серия : «Управление, вычислительная техника, информатика». – Астрахань, 2014. – № 4. – С. 32–39.
6. Методы и алгоритмы округления, масштабирования и деления чисел в модулярной арифметике / Н. И. Червяков [и др.] // 50 лет модуляр. арифметики : тр. юбил. Междунар. науч.-техн. конф. (23.11–25.11.2005) / Моск. ин-т электрон. техники. – Москва, 2005. – С. 291–310.
7. Модулярные параллельные вычислительные структуры нейропроцессорных систем : монография / под ред. Н. И. Червякова. – Москва : Физматлит, 2003. – 288 с.
8. Полисский, Ю. Д. Алгоритм выполнения операции деления чисел на два в системе остаточных классов / Ю. Д. Полисский // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 16. – С. 68–72.
9. Полисский, Ю. Д. Алгоритм выполнения сложных операций в системе остаточных классов с помощью представления чисел в обратных кодах / Ю. Д. Полисский // Электронное моделирование. – 2014. – Т. 36, № 4. – С. 117–122.
10. Полисский, Ю. Д. О выполнении сложных операций в системе остаточных классов / Ю. Д. Полисский // Электронное моделирование. – 2006. – Т. 28, № 3. – С. 117–123.
11. Червяков, Н. И. Методы, алгоритмы и техническая реализация основных проблемных операций, выполняемых в системе остаточных классов / Н. И. Червяков // Инфокоммуник. технологии / Поволж. гос. ун-т телеком. и информ. – Самара, 2011. – № 4. – С. 4–12.
12. Червяков, Н. И. Методы и принципы построения модулярных нейрокомпьютеров / Н. И. Червяков // 50 лет модулярной арифметики : тр. юбил. Междунар. науч.-техн. конф. (23.11–25.11.2005) / Моск. ин-т электрон. техники. – Москва, 2005. – С. 232–242.
13. Boateng, K. O. A Smith-Waterman Algorithm Accelerator Based on Residue Number System / K. O. Boateng, E. Y. Baagyere // Intern. J. of Electronics and Communication Engineering. – 2012. – Vol. 5, № 1. – P. 99–112.
14. Tomczak, T. Hierarchical residue number systems with small moduli and simple converters / T. Tomczak // Intern. J. of Applied Mathematics and Computer Science. – 2011. – Vol. 21. – Iss. 1. – P. 173–192. doi: 10.2478/v10006-011-0013-2.
15. Youssef, M. I. Multi-Layer Data Encryption Using Residue Number System in DNA Sequence / M. I. Youssef, A. E. Emam, M. Abd Elghany // Intern. J. of Security and Its Applications. – 2012. – Vol. 6, № 4. – P. 1–12.

Ю. Д. ПОЛІСЬКИЙ^{1*}

^{1*}НДІ автоматизації чорної металургії, вул. Короленка, 21, Дніпропетровськ, Україна, 49000, тел. + 38 (056) 744 33 65, +38 (067) 706 83 11, ел. пошта polissky@mail.ru, ORCID 0000-0001-5363-8145

ПРО ВИКОНАННЯ СКЛАДНИХ ОПЕРАЦІЙ У НЕПОЗИЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ЧИСЛЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ

Мета. Робота передбачає теоретичне обґрунтування методики підвищення ефективності виконання у не-позиційній системі числення залишкових класів складних, так званих немодульних, операцій, для реалізації яких необхідно знати цифри операндів по всіх розрядах. **Методика.** Для досягнення поставленої мети числа представляються в системі непарних модулів, при цьому результат виконання операції визначається на основі встановлення парності операндів. Визначення парності здійснюється шляхом знаходження суми по модулю два значень позиційних характеристик числа по всіх його модулях. Алгоритм отримання позиційної характеристики включає ітерації двох видів. Ітерація першого виду полягає в переході від даного числа до меншого числа, в якому залишки по одному або декількох модулях дорівнюють нулю. Досягається це відніманням із усіх залишків значення одного з них. Ітерація другого виду полягає в переході від даного числа до меншого числа за рахунок виключення модулів, залишки за якими дорівнюють нулю, шляхом ділення цього числа на добуток цих модулів. Ітерації виконуються до тих пір, доки залишки по одному, всім або деяким модулям не стануть дорівнювати нулю, а решта будуть виключені. Запропонована методика відрізняється своєю простотою та дозволяє швидко отримати результат операції. **Результати.** Отримані досить нескладні рішення немодульних операцій визначення виходу за межі діапазону результату додавання або віднімання пари чисел, порівняння пари чисел, визначення приналежності числа даній половині діапазону, визначення парності чисел, представлених у непозиційній системі числення залишкових класів. **Наукова новизна.** Запропоновані нові ефективні підходи до вирішення модульних операцій системи числення залишкових класів. Представляється доцільним розглядати ці підходи як напрямок досліджень по підвищенню ефективності модулярних обчислень. **Практична значимість.** Розглянуті рішення мають високу швидкодію і можуть бути ефективними при розробці модулярних обчислювальних структур.

Ключові слова: залишкові класи; число; складні операції; позиційна характеристика; парність числа; ітерація

YU. D. POLISSKY^{1*}

^{1*}Automation, Iron and Steel SRI, Korolenko St., 21, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49000,
tel. + 38 (056) 744 33 65, +38 (067) 706 83 11, e-mail polissky@mail.ru, ORCID 0000-0001-5363-8145

ABOUT COMPLEX OPERATIONS IN NON-POSITIONAL RESIDUE NUMBER SYSTEM

Purpose. The purpose of this work is the theoretical substantiation of methods for increased efficiency of execution of difficult, so-called not modular, operations in non-positional residue number system for which it is necessary to know operand digits for all grade levels. **Methodology.** To achieve the target the numbers are presented in odd module system, while the result of the operation is determined on the basis of establishing the operand parity. The parity is determined by finding the sum modulo for the values of the number positional characteristics for all of its modules. Algorithm of position characteristics includes two types of iteration. The first iteration is to move from this number to a smaller number, in which the remains of one or more modules are equal to zero. This is achieved by subtracting out of all the residues the value of one of them. The second iteration is to move from this number to a smaller number due to exclusion of modules, which residues are zero, by dividing this number by the product of these modules. Iterations are performed until the residues of one, some or all of the modules equal to zero and other modules are excluded. The proposed method is distinguished by its simplicity and allows you to obtain the result of the operation quickly. **Findings.** There are obtained rather simple solutions of not modular operations for definition of outputs beyond the range of the result of adding or subtracting pairs of numbers, comparing pairs of numbers, determining the number belonging to the specific half of the range, defining parity of numbers presented in non-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

positional residue number system. **Originality.** The work offered the new effective approaches to solve the non-modular operations of the non-positional residue number system. It seems appropriate to consider these approaches as research areas to enhance the effectiveness of the modular calculation. **Practical value.** The above solutions have high performance and can be effective in developing modular computing structures.

Keywords: residue classes; number; complex operations; positional characteristic; parity number; iteration

REFERENCES

1. Akushskiy I.Ya., Yuditskiy D.I. *Arifmetika v ostatochnykh klassakh* [Machine arithmetic in the residual classes]. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1968. 440 p.
2. Irkhin V.P. Tablichnaya realizatsiya operatsiy modulyarnoy arifmetiki [Tabular implementation of modular arithmetic operations]. *Trudy yubileynoy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «50 let modulyarnoy arifmetiki (23.11.–25.11.2005)»* [Proc. of Anniversary Intern. Sci. and Techn. Conf. «50 years of modular arithmetic»]. Moscow, 2015, pp. 268-273.
3. Knut D. *Iskusstvo programmirovaniya* [Programming art]. Moscow, Dialektika-Vilyams Publ., 2013. 832 p.
4. Kolesnykova T.O. Integratsiya ukrainskoy otraslevoy nauchnoy periodiki v mirovoye nauchno-informatsionnoye prostranstvo: problemy i resheniya [Integration of Ukrainian industry scientific periodicals into world scientific information space: problems and solutions]. *Nauka ta progres transportu – Science and Transport Progress*, 2013, no. 6 (48), pp. 7-22. doi: 10.15802/stp2013/19835.
5. Magomedov Sh.G. Preobrazovaniye predstavleniy chisel v modulyarnoy arifmetike v sistemakh ostatochnykh klassov s raznymi osnovaniyami [Transformation of numeration in a modular arithmetic in systems of remaining classes with different bases]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: «Upravleniye, vychislitel'naya tekhnika, informatika»* [Bulletin of Astrakhan State and Technical University. Series: «Management, computer technology, informatics»]. Astrakhan, 2014, no. 4, pp. 32-39.
6. Chervyakov N.I., Lavrinenko I.N., Lavrinenko S.V., Mezentseva O.S. Metody i algoritmy okrugleniya, masshtabirovaniya i deleniya chisel v modulyarnoy arifmetike [Methods and rounding algorithms, scaling and dividing numbers in modular arithmetic]. *Trudy yubileynoy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «50 let modulyarnoy arifmetiki (23.11.–25.11.2005)»* [Proc. of Anniversary Intern. Sci. and Techn. Conf. «50 years of modular arithmetic»]. Moscow, 2005, pp. 291-310.
7. Chervyakov N.I., Sakhyuk P.A., Shaposhnikov A.V., Ryadnov S.A. *Modulyarnyye parallelnyye vychislitel'nyye struktury neyroprotsessornykh system* [Modular parallel computing structure of neuroprocessor systems]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2003. 288 p.
8. Polisskiy Yu.D. Algoritm vypolneniya operatsii deleniya chisel na dva v sisteme ostatochnykh klassov [The algorithm of operation performing of dividing the number by two in the system of residual classes]. *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 16, pp. 68-72.
9. Polisskiy Yu.D. Algoritm vypolneniya slozhnykh operatsiy v sisteme ostatochnykh klassov s pomoshchyu predstavleniya chisel v obratnykh kodakh [Algorithm to perform complex operations in the residual classes system using representation of numbers in reverse codes]. *Elektronnoye modelirovaniye – Electronic modeling*, 2014, vol. 36, no. 4, pp. 117-122.
10. Polisskiy Yu.D. O vypolnenii slozhnykh operatsiy v sisteme ostatochnykh klassov [About the implementation of complex transactions in the system of residual classes]. *Elektronnoye modelirovaniye – Electronic modeling*, 2006, vol. 28, no. 3, pp. 117-123.
11. Chervyakov N.I. Metody, algoritmy i tekhnicheskaya realizatsiya osnovnykh problemnykh operatsiy, vpolnyaemykh v sisteme ostatochnykh klassov [Methods, algorithms and technical implementation of the basic problem of operations performed in the system of residual classes]. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii – Information and Communication Technologies*, 2011, no. 4, pp. 4-12.
12. Chervyakov N.I. Metody i printsipy postroyeniya modulyarnykh neyrokompyuterov [Methods and principles of construction of modular neural computers]. *Trudy yubileynoy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «50 let modulyarnoy arifmetiki (23.11.–25.11.2005)»* [Proc. of Anniversary Intern. Sci. and Techn. Conf. «50 years of modular arithmetic»]. Moscow, 2005, pp. 232-242.
13. Boateng K.O., Baagyere E.Y. A Smith-Waterman Algorithm Accelerator Based on Residue Number System. *Intern. Journal of Electronics and Communication Engineering*, 2012, vol. 5, no. 1, pp. 99-112.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

14. Tomczak T. Hierarchical residue number systems with small moduli and simple converters. *Intern. Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 2011, vol. 21, issue 1, pp. 173-192. doi: 10.2478/v10006-011-0013-2.
15. Youssef M.I., Emam A.E. , Abd Elghany M. Multi-Layer Data Encryption Using Residue Number System in DNA Sequence. *Intern. Journal of Security and Its Applications*, 2012, vol. 6, no. 4, pp. 1-12.

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

Поступила в редколлегию: 08.12.2015

Принята к печати: 24.03.2016

УДК 510.25:004.422.63.05

В. И. ШИНКАРЕНКО^{1*}, Г. В. ЗАБУЛА^{2*}

^{1*}Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, эл. почта shinkrenko_vi@ua.fm, ORCID 0000-0001-8738-7225

^{2*}Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, эл. почта zabulus12@gmail.com, ORCID 0000-0002-8607-5729

КОНСТРУКТИВНАЯ МОДЕЛЬ АДАПТАЦИИ СТРУКТУР ДАННЫХ В ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ: ЧАСТЬ II. КОНСТРУКТОРЫ СЦЕНАРИЕВ И ПРОЦЕССОВ АДАПТАЦИИ

Цель. Вторая часть статьи завершает представление системы конструктивно-продукционных структур (КПС), моделирующих адаптацию структур данных в оперативной памяти (ОП). Цель второй части исследования заключается в разработке модели процесса адаптации данных в ОП, функционирующих в различных программно-аппаратных средах, и сценариев процессов обработки данных. **Методика.** Для осуществления цели применена методология математико-алгоритмического конструктивизма. В данной части работы, на основании обобщенной КПС, путем ее трансформационных преобразований разрабатываются конструкторы сценариев и процессов адаптации. Конструкторы являются интерпретированными, специализированными КПС. Выделяются терминальные алфавиты конструктора сценариев в виде алгоритмов обработки данных и конструктора адаптации – в виде алгоритмических составляющих процесса адаптации. Методика предусматривает разработку правил подстановки, определяющих процесс вывода соответствующих конструкций. **Результаты.** Во второй части статьи представлена часть системы КПС, моделирующей адаптацию размещения данных в ОП, а именно, конструкторов сценариев и процессов адаптации. Результатом реализации конструктора сценариев является набор операций обработки данных в виде текста на языке программирования C#, конструктора процесса адаптации – процесс адаптации, а результатом процесса адаптации – адаптированный бинарный код обработки структур данных. **Научная новизна.** Впервые предложена конструктивная модель процесса обработки данных – сценария, учитывающего порядок и количество обращений к различным элементам структур данных, а также адаптации структур данных к различным программно-аппаратным средам. При этом адаптируется размещение данных в ОП и алгоритмы их обработки. Применение конструктивизма в моделировании позволило в рамках единого подхода и применяемых средств связать модели данных и алгоритмы их обработки с критериями эффективности. Разработанные модели позволяют исследовать процесс адаптации и управлять им. **Практическая значимость.** Разработанные модель и методы позволяют автоматически изменять размещение данных в ОП и их алгоритмические связи в зависимости от эксплуатационных потребностей, конструктивных особенностей аппаратных средств и программной среды функционирования.

Ключевые слова: структура данных; конструктивно-продукционная структура; адаптация; конструктор; преобразователь

Введение

Формальные модели структур данных и алгоритмов их обработки [1–4] разработаны на основе аппарата конструктивно-продукционных структур (КПС) [16]. На основе исследований структур данных [5] и эффективности их размещения в оперативной памяти (ОП) [7, 8, 13–15] и алгоритмов [6, 17], разработана конструктивная модель адаптации данных в ОП.

В первой части статьи [10] дано определение КПС и представлены вспомогательные конструкторы, позволяющие конструировать множество различных вариантов размещения данных в ОП и порождающие соответствующие им программы обработки данных, таких как добавление, поиск и т.д. В этой части работы представлены основные конструкторы сценариев и процессов адаптации.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Конструктор сценариев. Моделируемую последовательность операции обработки данных назовем сценарием работы со структурой данных (или просто сценарием).

Уточним, что понимается под операциями обработки данных. Обработка данных выполняется на основе атомарных или примитивных операций обработки. Все примитивные операции обработки СД можно разделить на:

операции не связанные с изменением структуры и значений ее элементов. Такие операции должны быть ограничены исключительно выбором или поиском значений и исключать другую функциональность, например, определение средних значений по выборке и т. п.;

– операции, связанные с преобразованием структуры данных в том числе: изменение логической структуры (например, замена массива списком, балансировка дерева); добавление/удаление элемента (ов);

– операции, связанные с изменением значений ее элементов без изменения структуры. Такие операции должны быть ограничены исключительно поиском (при необходимости) позиции и заменой значения и исключать преобразование данных;

– операции, связанные с изменением значений ее элементов и связанные с этим изменения структуры. Например, добавление элемента в упорядоченный список.

Формальной структурой для формирования сценариев обработки данных назовем специализированную ОКПС C_{SC} :

$$C = \langle M, \Sigma, \Lambda \rangle \xrightarrow{s} C_{SC} = \langle M_{SC}, \Sigma_{SC}, \Lambda_{SC} \rangle,$$

где $\Sigma_{SC} = \langle \Xi_{SC}, \Theta_{SC}, \Phi_{SC}, \{\rightarrow\} \rangle$, $\Xi_{SC} = \{\circ, ;\}$, $\Lambda_{SC} = \Lambda_{15} \cup \Lambda_{16}$. $\Lambda_{15} = \{M_{SC} \supset (T_{SC} \cup N_{SC})\}$, $T_{SC} = \{C_{\#}\}$, $N_{SC} = \{\alpha_i\}$.

Частичная аксиоматика Λ_{16} приведена ниже.

Терминальный алфавит T_{SC} состоит из множества $C_{\#}$ – лексем языка С#.

Операции связывания терминалов и нетерминалов:

– ввод данных из внешней среды $\circ x$, где x – идентификатор введенных данных. Для выполнения операции требуется внешний исполнитель, который предоставляет данные. Внеш-

ний исполнитель представляет собой программно-аппаратную среду, возможно управляемую пользователем;

– связывание элементов сценария $x; y$, где x и y – элементы сценария, которые выполняются последовательно.

– Операции над атрибутами:

$\vee(a, b)$ – генерации случайного числа на промежутке $[a, b]$; \times – умножения, $-$ – вычитания, $=$ – сравнения на равенство, $:=$ – присвоения; $\div(c; t; f)$ – выбора значения как в C_{LD} .

Для интерпретации C_{SC} необходима модель исполнителя, которую представим в виде базовой алгоритмической структуры (БАС):

$$C_{A,SC} = \langle M_{A,SC}, V_{A,SC}, \Sigma_{A,SC}, \Lambda_{A,SC} \rangle,$$

где $M_{A,SC}$ – неоднородный носитель, $V_{A,SC}$ – множество образующих алгоритмов, $\Sigma_{A,SC}$ – сигнатура и $\Lambda_{A,SC}$ – аксиоматика. Носитель $M_{A,SC} \supset T_{SC} \cup N_{SC} \cup \Omega(C_{A,SC}) \cup W$, где $\Omega(C_{A,SC})$ все сформированные алгоритмами алгоритмической структуры конструкции; W – множество допустимых значений атрибутов. Множество алгоритмов

$$V_{A,SC} \supset \{ A_1^0 |_{A_i, A_j}^{A_i, A_j}, A_2^0 |_{Z_1, Z_2, A_i}^{A_i}, A_3 |_{l_h, l_q, f_i}^{f_j}, A_4 |_{f_i, \Psi}^{f_j}, A_5 |_{f_i, \Psi}^{f_j}, A_6 |_a^b, A_7 |_{a, b}^c, A_8 |_{a, b}^c, A_9 |_{a, b}^c, A_{10} |_{a, b}^p, A_{11} |_{c, f, t}^v, A_{12} |_{\mathbb{R}}^x, A_{13} |_{l_i, l_j}^{l_i, l_j} \} \cup V_W \subset \Omega(C_{A,SC}).$$

$A_1^0 |_{A_i, A_j}^{A_i, A_j}$, $A_2^0 |_{Z_1, Z_2, A_i}^{A_i}$ такие как в $C_{A,LD}$, $A_3 |_{l_h, l_q, f_i}^{f_j}$ такой как $A_5 |_{l_h, l_q, f_i}^{f_j}$ в $C_{A,LD}$, $A_4 |_{f_i, \Psi}^{f_j}$, такой как $A_6 |_{f_i, \Psi}^{f_j}$ в $C_{A,LD}$, $A_5 |_{f_i, \Psi}^{f_j}$ такой как $A_7 |_{f_i, \Psi}^{f_j}$ в $C_{A,LD}$;

$A_6 |_a^b$, $A_7 |_{a, b}^c$, $A_8 |_{a, b}^c$, $A_9 |_{a, b}^c$ алгоритмы реализующие операции присваивания, сравнения на равенство, умножения и вычитания соответственно;

$A_{10} |_{a, b}^p$ генерация случайного числа из промежутка $[a, b]$;

$A_{11} |_{c, f, t}^v$ соответствует $A_8 |_{c, a, b}^v$ из $C_{A,LD}$;

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$A_{12} \mid_{\mathbb{R}}^x$ алгоритм вводу даних, $x \in T_{SC}$, \mathbb{R} – програмно-апаратна среда;

$A_{13} \mid_{l_i, l_j}^{l_i, l_j}$ алгоритм связывания элементов, $l_i, l_j \in M_{SC}$.

Конструктор сценариев представляет собой совокупность моделей сценариев. Он является интерпретацией формальной структурой C_{SC} алгоритмической структуры $C_{A,SC}$:

$$\langle C_{SC} = \langle M_{SC}, \Sigma_{SC}, \Lambda_{SC} \rangle,$$

$$C_{A,SC} = \langle M_{A,SC}, \Sigma_{A,SC}, \Lambda_{A,SC} \rangle$$

$$I \mapsto {}_I C_{SC} = \langle M_{I,SC}, \Sigma_{I,SC}, \Lambda_{I,SC} \rangle,$$

где $I \mapsto$ – операция интерпретации;

$$\Lambda_{I,SC} = \Lambda_{SC} \cup \Lambda_{17}; \quad \Lambda_{17} = \{ (A_1 \mid_{A_i, A_j}^{A_i, A_j} \cdot);$$

$$(A_2 \mid_{Z_1, Z_2, A_i}^{A_i} \cdot); (A_3 \mid_{l_h, l_q, f_i}^{f_j} \cdot); (A_4 \mid_{f_i, \Psi}^{f_j} \cdot);$$

$$(A_5 \mid_{f_i, \Psi}^{f_j} \cdot); (A_6 \mid_a^b \cdot); (A_7 \mid_{a,b}^c \cdot);$$

$$(A_8 \mid_{a,b}^c \cdot); (A_9 \mid_{a,b}^c \cdot); (A_{10} \mid_{a,b}^p \cdot);$$

$$(A_{11} \mid_{c,f,i}^v \cdot); (A_{12} \mid_{\mathbb{R}}^x \cdot); (A_{13} \mid_{l_i, l_j}^{l_i, l_j} \cdot); \}.$$

Алгоритм A_{12} может быть реализован как C# generic функция с переменным количеством параметров. Например:

public T GetParameter<T>(params object[] inputs)

$${}_I C_{SC} = \langle M_{I,SC}, \Sigma_{I,SC}, \Lambda_{I,SC} \rangle$$

$$K \mapsto C_{SC_{BMP}} = \langle M_{SC_{BMP}}, \Sigma_{SC_{BMP}}, \Lambda_{SC_{BMP}} \rangle$$

где $M_{SC_{BMP}} \supset N_{SC_{BMP}} \cup T_{SC_{BMP}}$; $\Sigma_{SC_{BMP}} = \Sigma_{I,SC}$; $\Lambda_{SC_{BMP}} = \Lambda_{I,SC} \cup \Lambda_{18} \cup \Lambda_{19}$. $\Lambda_{18} = \langle T_{SC_{BMP}} = \{ T_{PL} \cup \{ x, y, root, DeleteAt, Resize, bpp, width, height \} \}$, $N_{SC} = \{ SCELEMENT, SCENARIO, \sigma \}$.

Частичная аксиоматика Λ_{19} заключается в следующем.

Внешним исполнителем задано: интервал количества применяемых правил N_{min}, N_{max} и вероятности использования каждого правила $\vec{p} = \langle p_0, \dots, p_k \rangle$, где k – количество операций.

На основании чего определяется количество выполнения каждой операции вектором $\vec{n} = \langle n_0, \dots, n_k \rangle$.

Формируемые сценарии обработки ВМР файлов в ОП включают следующие операции обработки данных: изменение цвета пикселя по координатам (правило s_3), получение значение цвета по координатам (s_4), установка цвета пикселя белым (s_5), изменение общего размера изображения (s_6), получение ширины изображения (s_7), изменение битности изображения (s_8), изменение ширины изображения (s_9), изменение высоты изображения (s_{10}), получение значения высоты изображения (s_{11}), получение значения битности изображения (s_{12}), изменение компонент R, G, B пикселя по координатам (соответственно компонентам s_{13} , s_{14} , s_{15}).

Правила вывода имеют вид $\psi_i = \langle s_i, g_i \rangle$. Зададим следующие отношения подстановки:

$$s_0 = \langle \sigma \rightarrow \Omega(C_{PLI}); SCENARIO \rangle$$

$$s_1 = \langle SCENARIO \xrightarrow{\vec{d}} SCELEMENT;$$

$$SCENARIO \rangle$$

$$s_2 = \langle SCENARIO \xrightarrow{\vec{d}} SCELEMENT; \rangle$$

$$s_3 = \langle SCELEMENT \xrightarrow{\vec{d}} \circ x; \circ y; \circ rgb;$$

$$root.ImageData[x, y] = rgb; \rangle$$

$$s_4 = \langle SCELEMENT \xrightarrow{\vec{d}} \circ x; \circ y;$$

$$root.ImageData[x, y]; \rangle$$

$$s_5 = \langle SCELEMENT \xrightarrow{\vec{d}} \circ x; \circ y;$$

$$root.ImageData.DeleteAt(x, y); \rangle$$

$$s_6 = \langle SCELEMENT \xrightarrow{\vec{d}} \circ w; \circ h;$$

$$root.ImageData.Resize(w, h); \rangle$$

$$s_7 = \langle SCELEMENT \xrightarrow{\vec{d}} \rightarrow$$

$$root.ImageHeader.Width; \rangle$$

$$s_8 = \langle SCELEMENT \xrightarrow{\vec{d}} \rightarrow \circ bpp;$$

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

```

root.ImageHeader.BitsPerPixel = bpp;>
    s9 =< SCELEMENT  $\vec{d} \rightarrow \circ width$ ;
root.ImageHeader.Width = width;>
    s10 =< SCELEMENT  $\vec{d} \rightarrow \circ height$ ;
root.ImageHeader.Height = height;>
    s11 =< SCELEMENT  $\vec{d} \rightarrow$ 
root.ImageHeader.Height;>
    s12 =< SCELEMENT  $\vec{d} \rightarrow$ 
root.ImageHeader.BitsPerPixel;>
    s13 =< SCELEMENT  $\vec{d} \rightarrow \circ r; \circ x; \circ y$ ;
root.ImageData[x,y].R = r;>
    s14 =< SCELEMENT  $\vec{d} \rightarrow \circ g; \circ x; \circ y$ ;
root.ImageData[x,y].G = g;>
    s15 =< SCELEMENT  $\vec{d} \rightarrow \circ b; \circ x; \circ y$ ;
root.ImageData[x,y].B = b;>

```

Правила над атрибутами:

```

g0 =< N = √[Nmin, Nmax]; ni := N × pi >,
gi =< di = ÷(ni = 0, 1, 0); ni := ni - 1 >, при
i = [3...15].

```

В результате реализации структуры $C_{SC_{BMP}}$ формируется множество сценариев обработки данных BMP файлов. Например, часть сценария:

```

public T GetParameter<T>(params object[] inputs)
{
    Console.WriteLine("Enter parameter: {0}", inputs[0]);
    Return Convert.To<T>(Console.ReadLine());
}
int height = GetParameter<int>("height");
root.ImageHeader.Height = height;
int r = GetParameter<int>("r");
int x = GetParameter<int>("x");
int y = GetParameter<int>("y");
root.ImageData[x,y].R = r;
int g = GetParameter<int>("g");
root.ImageData[x,y].G = g;

```

```

int b = GetParameter<int>("b");
x = GetParameter<int>("x");
y = GetParameter<int>("y");
root.ImageData[x,y].B = b;

```

Конструктор процесса адаптации представления СД на языке программирования. Будем специализировать ОКПС для представления адаптера СД следующей структурой:

$$C = \langle M, \Sigma, \Lambda \rangle \mapsto C_{ADS} = \langle M_{ADS}, \Sigma_{ADS}, \Lambda_{ADS} \rangle,$$

где

$$\Sigma_{ADS} = \langle \Xi_{ADS}, \Theta_{ADS}, \Phi_{ADS}, \{\rightarrow\} \rangle, \Xi_{ADS} = \{".", "\}\}, \Lambda_{ADS} = \Lambda \cup \Lambda_{20} \cup \Lambda_{21}. \Lambda_{ADS1} = \{M_{ADS} \supset (T_{ADS} \cup N_{ADS}), T_{ADS} = \{B_i, i = 1 \dots 14\}, N_{SC} = \{\alpha_i\}\}.$$

Специализированный процесс представляет собой процесс структурной адаптации СД использующий критерий временной эффективности выполнения сценариев обработки данных и генетический алгоритм для случайного поиска оптимальной СД.

Частичная аксиоматика Λ_{20} приведена ниже.

Множество T_{ADS} состоит из приведенных ниже алгоритмов:

$B_1 \Big|_P^{S_P, R_P}$ – получения S- и R- оценки показателей временной эффективности структур данных;

$B_2 \Big|_{\Omega(C_{PLi})}^{\Omega(C_{SC})}$ – генерации множества сценария;

$B_3 \Big|_{\Omega(C_{SC})}^{f_{SC}}$ – выбора сценария из множества сгенерированных;

$B_4 \Big|_{f_{SC}}^{RP}$ – формирования процесса выполнения RP из текста программной реализации и сценария;

$B_5 \Big|_{\mathbb{R}}^t$ – получения текущего времени из таймера;

$B_6 \Big|_{RP, \mathbb{R}}^{PE}$ – исполнения процесса выполнения сценария RP ;

$B_7 \Big|_a^b$ – реализация операции присвоения без привязки к типу;

$B_8 \Big|_{t_{beg}, t_{end}, f_{PL}}^{\tilde{t}}$ – вычисления времени выполнения сценария программным шаблоном;

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$B_9 \big|_{P, S_P, R_P}^b$ – вычисление признака завершения работы адаптера;

$B_{10} \big|_{\mathfrak{R}, \bar{R}}^{\vec{r}}$ – получение вектора случайных чисел на основе вектора \bar{R} , указывающего максимальные значения вектора \bar{Q} ;

$B_{11} \big|_{P_i, a}^{P_j, r}$ – принятие решения относительно особи на основе оценки a , $true$, если особь должна остаться в популяции;

$B_{12} \big|_P^a$ – подсчет оценки популяции;

$B_{13} \big|_{v_1, v_2}^{v_3}$ – скрещивание особи v_1 и v_2 в результирующую особь v_3 ;

$B_{14} \big|_{\mathfrak{R}, Q}^{R, f_{PL}}$ – выполнение генерации конструкций текста преобразователя $\Omega(C_{PL})$.

$B_{15} \big|_{Or}^{\Omega(C_{LSD})}$ – выполнение генерации конструкций логической структуры данных, на основе правил, построенных внешним исполнителем Or ;

$B_{16} \big|_{f_{LSD}}^{\Omega(C_{PLI})}$ – выполнение генерации конструкций $\Omega(C_{PLI})$ на основе конструкции f_{LSD} ;

$B_{17} \big|_{\Omega(C_{LSD})}^{f_{LSD}}$ – выбор конструкции логической структуры из множества $\Omega(C_{LSD})$;

$B_{18} \big|_k^{k'}$ – инкрементация значения переменной.

В приведенных алгоритмах $\Omega(C_{PLI})$ – декларация классов на языке C#, формируемая как реализация преобразователя C_{PLI} каждой примитивной конструкции (с однородными и неоднородными элементами), декларируется свой класс с соответствующими методами обработки данных; $\Omega(C_{SC})$ – множество программных сценариев обработки данных; $\Omega(C_{PL})$ – множество текстов программ объектно-ориентированных структур данных, формируемых в результате реализации преобразователя C_{PL} , которые различаются вариантами физического представления в оперативной памяти логических структур данных (размещение данных в ОП и методы их обработки); \bar{Q} – вектор с идентификаторами программных шаблонов, f_{PL} – программный шаблон, f_{SC} – сценарий обработки данных, RP – процесс выпол-

нения сценария программным шаблоном, \mathfrak{R} – программно-аппаратная среда адаптации структур данных, PE – выполнение сценария, \vec{r} – вектор случайных чисел, P – популяция, t – время выполнения сценария программной реализацией, закодированной заданной особью, P' – популяция с соответствующими значениями времени выполнения сценария, P^- – сокращённая популяция, P^* – популяция с размноженными особями, P_i, t_i – особь, время соотв. этой особи, b – признак продолжения работы адаптера.

Операции связывания терминалов и нетерминалов $x \cdot y$, где x и y – алгоритмы, которые выполняются последовательно.

Для определения интерпретации структуры C_{ADS} воспользуемся следующей базовой алгоритмической структурой:

$$C_{A, ADS} = \langle M_{A, ADS}, V_{A, ADS}, \Sigma_{A, ADS}, \Lambda_{A, ADS} \rangle,$$

где $M_{A, ADS}$ – неоднородный носитель, $V_{A, ADS}$ – множество образующих алгоритмов, $\Sigma_{A, ADS}$ – сигнатура и $\Lambda_{A, ADS}$ – аксиоматика. Носитель $M_{A, ADS} \supset T_{ADS} \cup N_{ADS} \cup \Omega(C_{A, ADS}) \cup W$, где $\Omega(C_{A, ADS})$ все сформированные процессы адаптации структур данных; W – множество допустимых значений атрибутов. Множество алгоритмов $V_{A, ADS} \supset \{ A_1^0 \big|_{A_i, A_j}^{A_i \cdot A_j}, A_2^0 \big|_{Z_1, Z_2, A_i}^{A_i}, A_3 \big|_{l_h, l_q, f_i}^{f_j}, A_4 \big|_{f_i, \Psi}^{f_j}, A_5 \big|_{f_i, \Psi}^{f_j} \} \cup W \subset \Omega(C_{A, ADS})$. $A_1^0 \big|_{A_i, A_j}^{A_i \cdot A_j}, A_2^0 \big|_{Z_1, Z_2, A_i}^{A_i}$ такие как в $C_{A, LD}$, $A_3 \big|_{l_h, l_q, f_i}^{f_j}$ такой как $A_5 \big|_{l_h, l_q, f_i}^{f_j}$ в $C_{A, LD}$, $A_4 \big|_{f_i, \Psi}^{f_j}$, такой как $A_6 \big|_{f_i, \Psi}^{f_j}$ в $C_{A, LD}$, $A_5 \big|_{f_i, \Psi}^{f_j}$ такой как $A_7 \big|_{f_i, \Psi}^{f_j}$ в $C_{A, LD}$; $A_6 \big|_{l_i, l_j}^{l_i \cdot l_j}$ алгоритм связывания элементов, $l_i, l_j \in M_{SC}$.

Интерпретация конструктора процесса адаптации:

$$< C_{ADS} = < M_{ADS}, \Sigma_{ADS}, \Lambda_{ADS} >, >$$

$$C_{A, ADS} = < M_{A, ADS}, \Sigma_{A, ADS}, \Lambda_{A, ADS} >>$$

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$$I \mapsto {}_I C_{ADS} = \langle M_{I,ADS}, \Sigma_{I,ADS}, \Lambda_{I,ADS} \rangle$$

где $I \mapsto$ – операция интерпретации;

$$\Lambda_{I,ADS} = \Lambda_{ADS} \cup \Lambda_{22}; \quad \Lambda_{SC1} = \{ (A_1^0 |_{A_i, A_j} \dashv \cdot); (A_2^0 |_{Z_1, Z_2, A_i} \dashv \cdot); (A_3 |_{I_h, I_q, f_i}^f \dashv \Rightarrow); (A_4 |_{f_i, \Psi}^f \dashv \Rightarrow); (A_5 |_{f_i, \Psi}^f \dashv \Rightarrow); (A_6 |_{I_i, I_j}^{I_i, I_j} \dashv \cdot) \}$$

Рассмотрим конкретизацию для адаптера.

$$I C_{ADS} = \langle M_{ADS}, \Sigma_{ADS}, \Lambda_{I,ADS} \rangle$$

$$K \mapsto C_{K,ADS} = \langle M_{ADS}, \Sigma_{ADS}, \Lambda_{K,ADS} \rangle$$

где $M_{ADS} \supset T_{ADS} \cup N_{ADS}; \quad \Sigma_{ADS} = \Sigma_{S,ADS};$

$$\Lambda_{ADS} = \Lambda_{I,ADS} \cup \Lambda_{23} \cup \Lambda_{24}.$$

$$\Lambda_{22} = \langle T_{ADS} = \{T_{S,ADS}\}, \quad N_{ADS} = \{ \sigma, \quad v, \quad \delta, \quad \mu \} \rangle.$$

Частичная аксиоматика Λ_{23} включает следующие конструктивные дополнения: n – кол-во первоначальных особей генетического алгоритма, задается внешним исполнителем; a – параметры генерации случайных чисел особей, задается внешним исполнителем на основании значения атрибута R $\Omega(C_{PL})$.

Частичная аксиоматика Λ_{24} состоит из следующих отношений подстановки.

Правило подстановки для подготовки процесса выполнения адаптации:

$$\sigma \rightarrow B_{15} |_{Or}^{\Omega(C_{LSD})} \cdot B_{17} |_{\Omega(C_{LSD})}^{f_{LSD}} \cdot B_{16} |_{f_{LSD}}^{\Omega(C_{PLI})}.$$

$$B_2 |_{\Omega(C_{PLI})}^{\Omega(C_{SC})} \cdot B_3 |_{\Omega(C_{SC})}^{f_{SC}} \cdot \Phi \cdot \kappa \cdot \xi.$$

Правило для формирования вектора \vec{R} для определения максимальных значений вектора \vec{Q} :

$$\Phi \rightarrow B_{14} |_{\vec{R}, \vec{Q}^0}^{\vec{R}, f_{PL}}.$$

Генерация первой популяции выполняется следующим правилом:

$$\kappa \rightarrow \prod_{i=1}^n B_{10} |_{\vec{R}, \vec{Q}}^{\vec{Q}} \cdot B_{14} |_{\vec{R}, \vec{Q}}^{\vec{R}, P_i}.$$

Правило для определения времени выполнения сценария для каждой СД, зашифрован-

ной особью популяции:

$$\xi \rightarrow \prod_{i=1}^n \left(B_4 |_{f_{SC}, P_i}^{RP} \cdot B_5 |_{\vec{R}}^{t_{beg}} \times \right. \\ \left. \times B_6 |_{RP, \vec{R}}^{PE} \cdot B_5 |_{\vec{R}}^{t_{end}} \cdot B_8 |_{t_{beg}, t_{end}}^{t_i} \right) \zeta$$

Определение продолжения работы адаптера выполняется по следующему правилу:

$$\zeta \rightarrow B_1 |_P^{S_P, R_P} \cdot B_9 |_{P, S_P, R_P}^b \cdot A_2^0 |_{b, \{true\}}^{v \cdot \tau \cdot \xi}.$$

Правило для сокращения популяции на основе усредненной оценки времени выполнения сценария всей популяции. Здесь o – средняя оценка времени всей популяции:

$$v \rightarrow B_{12} |_P^o \cdot B_7 |_0^k \cdot \prod_{i=1}^n (B_{11} |_{P_i, o}^{P_k, b} \cdot A_2^0 |_{t, \{true\}}^{B_{18}^k}) \times \\ \times B_7 |_{P-}^P \cdot B_7 |_k^n$$

Генерация новых особей, на основе существующих в популяции, выполняется по следующему правилу:

$$\tau \rightarrow B_7 |_0^k \cdot \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^n (B_{13} |_{P_i, P_j}^{P_k^*, b} \cdot B_{18} |_k^k) \cdot B_7 |_{P^*}^P \cdot B_7 |_k^n;$$

Реализация процесса адаптации выглядит следующим образом:

$$B_{15} |_{Or}^{\Omega(C_{LSD})} \cdot B_{17} |_{\Omega(C_{LSD})}^{f_{LSD}} \cdot B_{16} |_{f_{LSD}}^{\Omega(C_{PLI})} \cdot B_2 |_{\Omega(C_{PLI})}^{\Omega(C_{SC})} \\ \cdot B_3 |_{\Omega(C_{SC})}^{f_{SC}} \cdot B_{14} |_{\vec{R}, \vec{Q}^0}^{\vec{R}, f_{PL}} \cdot \prod_{i=1}^n (B_{10} |_{\vec{R}, \vec{Q}}^{\vec{Q}} \cdot B_{14} |_{\vec{R}, \vec{Q}}^{\vec{R}, P_i}) \\ \cdot \prod_{i=1}^n (B_4 |_{f_{SC}, P_i}^{RP} \cdot B_5 |_{\vec{R}}^{t_{beg}} \cdot B_6 |_{RP}^{PE} \cdot B_5 |_{\vec{R}}^{t_{end}} \cdot B_8 |_{t_{beg}, t_{end}}^{t_i}) \\ \cdot B_1 |_P^{S_P, R_P} \cdot B_9 |_{P, S_P, R_P}^b \cdot A_2^0 |_{b, \{true\}}^{B_{19}} \quad B_{19} = B_{12} |_P^o \cdot B_7 |_0^k \cdot \\ \prod_{i=1}^n (B_{11} |_{P_i, o}^{P_k, b} \cdot A_2^0 |_{t, \{true\}}^{B_{18}^k}) \cdot B_7 |_{P-}^P \cdot B_7 |_k^n \cdot B_7 |_0^k \cdot \\ \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^n (B_{13} |_{P_i, P_j}^{P_k^*, b} \cdot B_{18} |_k^k) \cdot B_7 |_{P^*}^P \cdot B_7 |_k^n \cdot \prod_{i=1}^n (\\ B_4 |_{f_{SC}, P_i}^{RP} \cdot B_5 |_{\vec{R}}^{t_{beg}} \cdot B_6 |_{RP}^{PE} \cdot B_5 |_{\vec{R}}^{t_{end}} \cdot B_8 |_{t_{beg}, t_{end}}^{t_i}) \\ \cdot B_1 |_P^{S_P, R_P} \cdot B_9 |_{P, S_P, R_P}^b \cdot A_2^0 |_{b, \{true\}}^{B_{19}}$$

Циклический процесс структурной адаптации представления СД включает:

– синтез СД с разной программной реализацией;

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

– выполнение сценария с использованием синтезированного программного кода;

– анализ временной эффективности и выбор лучшей программной реализации СД.

Синтез СД заключается в генерации программного текста библиотеки классов реализующей заданную логическую структуру данных, и ее компиляции в промежуточный или бинарный код.

Научная новизна и практическая значимость

Впервые предложена конструктивная модель процессов разработки и адаптации структур данных к различным программно-аппаратным средам. При этом адаптируется размещение данных в ОП и алгоритмы их обработки.

Применение конструктивизма в моделировании позволило в рамках единого подхода и применяемых средств связать модели данных и алгоритмы их обработки с критериями эффективности.

Усовершенствована методика формирования системы КПС, механизмы, связи между взаимодополняющими друг друга КПС. Модификация конструктора и преобразователей позволяет коренным образом изменять и исследовать процесс адаптации

Разработанная модель позволяет автоматизировать процессы рационального размещения данных в ОП, что, в свою очередь, повышает временную эффективность программ со значительной долей обработки больших и очень больших объемов данных.

Выводы

Формализация представления данных на логическом уровне, преобразование логического представления СД в текст программы, конструирование текста программы сценариев, процесс адаптации выполнены средствами конструктивно-продукционных структур.

Модификация конструктора и преобразователей позволяет коренным образом изменять процесс адаптации:

– формировать на логическом уровне необходимые СД;

– применять различные подходы и способы формирования;

– совершенствовать алгоритмы адаптации и применять различные критерии качества СД.

При данном подходе разработчику программных систем достаточно в редакторе Dia [11, 12] построить логическую структуру данных, задать параметры сценариев. Тогда реализация системы конструктивно-продукционных структур сформирует тексты методов доступа к данным на ЯП С# для адаптированного к определенной программно-аппаратной среде размещения данных в оперативной памяти.

В соответствии с современными парадигмами программирования [9] разработаны соответствующие инструментальные программные средства [11, 12].

Универсализм дает возможность применять предложенный подход для улучшения временных характеристик программных средств, предполагающих значительные временные затраты. Этот подход позволяет существенно улучшить временные характеристики за счет рационального размещения данных в ОП.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акуловский, В. Г. Алгебра для описания данных в композиционных схемах алгоритмов / В. Г. Акуловский // Проблемы програмування. – 2012. – № 2-3. – С. 234–240.
2. Акуловский, В. Г. Основы алгебры алгоритмов, базирующейся на данных / В. Г. Акуловский // Проблемы програмування. – 2010. – № 2-3. – С. 89–96.
3. Алгеброалгоритмические модели и методы параллельного программирования / Ф. И. Андон, А. Е. Дорошенко, Г. Е. Цейтлин, Е. А. Яценко. – Киев : Академперіодика, 2007. – 634 с.
4. Глушков, В. М. Алгебра. Языки. Программирование / В. М. Глушков, Г. Е. Цейтлин, Е. Л. Ющенко. – Київ : Наук. думка, 1978. – 319 с.
5. Данные в языках программирования: абстракция и типология / под ред. В. Агафонова. – Москва : Мир, 1982. – 328 с.
6. Дорошенко, А. Е. Алгебра алгоритмов с данными и прогнозирование вычислительного процесса / А. Е. Дорошенко, В. Г. Акуловский // Проблемы програмування. – 2011. – № 3. – С. 3–10.
7. Дрождин, В. В. Анализ эффективности и эволюция структур данных / В. В. Дрождин, В. М. Володин // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. IX

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

- Международ. науч.-техн. конф. / Приволж. Дом знаний. – Пенза, 2009. – С. 33–44.
8. Ефимушкина, Н. В. Исследование подсистемы «кэш-память-оперативная память» много-процессорных вычислительных систем / Н. В. Ефимушкина, М. М. Ефремов, С. П. Орлов // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Серия: Техн. науки. – Самара, 2012. – № 3 (35). – С. 49–55.
 9. Лаврищева, Е. М. Software Engineering компьютерных систем. Парадигмы, технологии и CASE-средства программирования / Е. М. Лаврищева. – Київ : Наук. думка, 2013. – 283 с.
 10. Шинкаренко, В. И. Конструктивная модель адаптации структур данных в оперативной памяти: Часть I. Конструирование текстов программ / В. И. Шинкаренко, Г. В. Забула // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 100–112. doi: 10.15802/stp2016/61003.
 11. Шинкаренко, В. И. Повышение временной эффективности структур данных в оперативной памяти на основе адаптации / В. И. Шинкаренко, Г. В. Забула // Проблемы програмування. – 2012. – № 2-3. – С. 211–218.
 12. Шинкаренко, В. И. Применение генетического алгоритма в задачах адаптации структур данных / В. И. Шинкаренко, Г. В. Забула // Искусственный интеллект. – 2012. – № 3. – С. 323–331.
 13. Array Based HV/VH Tree: an Effective Data Structure for Layout Representation / J. Ren, W. Pan, Y. Zheng [et al.] // J. of Zhejiang University-SCIENCE C. – 2012. – Vol. 13. – Iss. 3. – P. 232–237. doi: 10.1631/jzus.c1100193.
 14. Attali, D. Efficient Data Structure for Representing and Simplifying Simplicial Complexes in High Dimensions / D. Attali, A. Lieutier, D. Salinas // Intern. J. of Computational Geometry & Applications. – 2012. – Vol. 22. – Iss. 4. – P. 279–303. doi: 10.1142/S0218195912600060.
 15. Bastani, F. B. The effect of data structures on the logical complexity of programs / F. B. Bastani, S. S. Iyengar // Communication of the ACM. – 1987. – Vol. 30. – Iss. 3. – P. 250–259. doi: 10.1145/214748.214760.
 16. Shynkarenko, V. I. Constructive-Synthesizing Structures and Their Grammatical Interpretations. I. Generalized Formal Constructive-Synthesizing Structure / V. I. Shynkarenko, V. M. Ilman // Cybernetics and Systems Analysis. – 2014. – Vol. 50. – Iss. 5. – P. 655–662. doi: 10.1007/s10559-014-9655-z.
 17. Weiss, M. A. Data Structures and Algorithm Analysis in C++ / M. A. Weiss. – London : Pearson Education Inc., 2014. – 656 p.

В. І. ШИНКАРЕНКО^{1*}, Г. В. ЗАБУЛА^{2*}

^{1*}Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта shinkrenko_vi@ua.fm, ORCID 0000-0001-8738-7225

^{2*}Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта zabulus12@gmail.com, ORCID 0000-0002-8607-5729

КОНСТРУКТИВНА МОДЕЛЬ АДАПТАЦІЇ СТРУКТУР ДАНИХ В ОПЕРАТИВНІЙ ПАМ'ЯТІ: ЧАСТИНА II. КОНСТРУКТОРИ СЦЕНАРІЇВ І ПРОЦЕСІВ АДАПТАЦІЇ

Мета. Друга частина статті завершує представлення системи конструктивно-продукційних структур (КПС), що моделюють адаптацію структур даних в оперативній пам'яті (ОП). Мета другої частини дослідження полягає в розробці моделі процесу адаптації даних в ОП, що функціонують у різноманітних програмно-апаратних середовищах, та сценаріїв процесів обробки даних. **Методика.** Для впровадження мети застосована методологія математико-алгоритмічного конструктивізму. У даній частині роботи, на основі узагальненої КПС, шляхом її трансформаційних перетворень розробляються конструктори сценаріїв і процесів адаптації. Конструктори є інтерпретованими, спеціалізованими КПС. Виділяються термінальні алфавіти конструктора сценаріїв у вигляді алгоритмів обробки даних і конструктора адаптації – у вигляді алгоритмічних складових процесу адаптації. Методика передбачає розробку правил підстановки, що визначають процес виводу відповідних конструкцій. **Результати.** У другій частині статті представлена частина системи КПС, що моделює адаптацію розміщення даних в ОП, а саме, конструкторів сценаріїв та процесів адаптації. Результатом реалізації конструктора сценаріїв є набір операцій обробки даних у вигляді тексту мовою програмування C#, конструктора процесу адаптації – процес адаптації, а результатом процесу

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

адаптації – адаптований бінарний код обробки структур даних. **Наукова новизна.** Вперше запропонована конструктивна модель процесу обробки даних – сценарію, що враховує порядок та кількість звернень до різних елементів структур даних, а також адаптації структур даних до різноманітних програмно-апаратним середовищ. При цьому адаптується розміщення даних в ОП та алгоритми їх обробки. Застосування конструктивізму в моделюванні дозволило в рамках єдиного підходу і застосовуваних засобів зв'язати моделі даних та алгоритми їх обробки з критеріями ефективності. Розроблені моделі дозволяють досліджувати процес адаптації та керувати ним. **Практична значимість.** Розроблені модель та методи дозволяють автоматично змінювати розміщення даних в ОП та їх алгоритмічні зв'язки в залежності від експлуатаційних потреб, конструктивних особливостей апаратних засобів і програмного середовища функціонування.

Ключові слова: структура даних; конструктивно-продукційна структура; адаптація; конструктор; перетворювач

V. I. SHYNKARENKO^{1*}, H. V. ZABULA^{2*}

^{1*}Dep. «Computer and Information Technologies», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail shinkrenko_vi@ua.fm, ORCID 0000-0001-8738-7225

^{2*}Dep. «Computer and Information Technologies», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail zabulus12@gmail.com, ORCID 0000-0002-8607-5729

CONSTRUCTIVE MODEL OF ADAPTATION OF DATA STRUCTURES IN RAM. PART II. CONSTRUCTORS OF SCENARIOS AND ADAPTATION PROCESSES

Purpose. The second part of the paper completes presentation of constructive and the productive structures (CPS), modeling adaptation of data structures in memory (RAM). The purpose of the second part in the research is to develop a model of process of adaptation data in a RAM functioning in different hardware and software environments and scenarios of data processing. **Methodology.** The methodology of mathematical and algorithmic constructionism was applied. In this part of the paper, changes were developed the constructors of scenarios and adaptation processes based on a generalized CPS through its transformational conversions. Constructors are interpreted, specialized CPS. Were highlighted the terminal alphabets of the constructor scenarios in the form of data processing algorithms and the constructor of adaptation – in the form of algorithmic components of the adaptation process. The methodology involves the development of substitution rules that determine the output process of the relevant structures. **Findings.** In the second part of the paper, system is represented by CPS modeling adaptation data placement in the RAM, namely, constructors of scenarios and of adaptation processes. The result of the implementation of constructor of scenarios is a set of data processing operations in the form of text in the language of programming C#, constructor of the adaptation processes – a process of adaptation, and the result the process of adaptation – the adapted binary code of processing data structures. **Originality.** For the first time proposed the constructive model of data processing – the scenario that takes into account the order and number of calls to the various elements of data structures and adaptation of data structures to the different hardware and software environments. At the same time the placement of data in RAM and processing algorithms are adapted. Constructionism application in modeling allows to link data models and algorithms for their processing with the performance criteria in the framework of unified approach and applied means. The developed models allow us to study the process of adaptation and control it. **Practical value.** The developed model and methods allow automatically changing the data placement in the RAM and their algorithmic connection depending on the operational requirements, the design features of the hardware and software operating environment.

Keywords: data structure; constructive and productive structure; adaptation; designer; converter

REFERENCES

1. Akulovskiy V.G. Algebra dlya opisaniya dannykh v kompozitsionnykh skhemakh algoritmov [Algebra to describe the data in the compositional schemes of algorithms]. *Problemy prohranuvannia – Programming Problems*, 2012, no. 2-3, pp. 234-240.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

2. Akulovskiy V.G. Osnovy algebrы algoritmov, baziruyushchiesya na dannykh [Basic algebra algorithms based on data]. *Problemy prohranuvannia – Programming Problems*, 2010, no. 2-3, pp. 89-96.
3. Andon F.I., Doroshenko A.Ye., Tseytlin G.Ye., Yatsenko Ye.A. *Algebro-algoritmicheskiye modeli i metody parallelnogo programmirovaniya* [Algorithmic algebraic models and methods of parallel programming]. Kyiv, Akadempyodyka Publ., 2007. 634 p.
4. Glushkov V.M., Tseytlin G.Ye., Yushchenko Ye.L. *Algebra. Yazyki. Programmirovaniye* [Algebra. Languages. Programming]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1978. 319 p.
5. Agafonov V. *Dannyye v yazykakh programmirovaniya: abstraktsiya i tipologiya* [Data in programming languages: abstraction and typology]. Moscow, Mir Publ., 1982. 328 p.
6. Doroshenko A.Ye., Akulovskiy V.G. Algebra algoritmov s dannyimi i prognozirovaniye vychislitelnogo protsessy [Algebra of algorithms with data and prediction of computational process]. *Problemy prohranuvannia – Programming Problems*, 2011, no. 3, pp. 3-10.
7. Drozhdin V.V., Volodin V.M. Analiz effektivnosti i evolyutsiya struktur dannykh [Analysis of the effectiveness and evolution of data structures]. *Sbornik statey IX Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Problemy informatiki v obrazovanii, upravlenii, ekonomike i tekhnike»* [Proc. of IX Intern. Sci. and Techn. Conf. «Problems of Informatics in education, management, economics and technology»]. Penza, 2009, pp. 33-44.
8. Yefimushkina N.V., Yefremov M.M., Orlov S.P. Issledovaniye podsistemy «kesh-pamyat-operativnaya pamyat» mnogoprotsessornykh vychislitelnykh sistem [The study of subsystem «cache-memory-RAM» multiprocessor computational systems]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskkiye nauki* [Bulletin of Samara State Technical University. Series: Technical Science], 2012, no. 3 (35), pp. 49-55.
9. Lavrishcheva Ye.M. *Software Engineering kompyuternykh sistem. Paradigmy, tekhnologii i CASE-sredstva programmirovaniya* [Software Engineering of computer systems. Paradigms, technologies and CASE tools of programming]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 2013. 283 p.
10. Shynkarenko V.I., Zabula H.V. Konstruktivnaya model adaptatsii struktur dannykh v operativnoy pamyati. Chast I. Konstruirovaniye tekstov programm [Constructive model of data structures adaptation in RAM. Part I. Program text constructing]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2016, no. 1 (61), pp. 100–112. doi: 10.15802/stp2016/61003.
11. Shynkarenko V.I., Zabula G.V. Povysheniye vremennoy effektivnosti struktur dannykh v operativnoy pamyati na osnove adaptatsii [Improving time efficiency of data structures in memory-based adaptation]. *Problemy prohranuvannia – Programming Problems*, 2012, no. 2-3, pp. 211-218.
12. Shynkarenko V.I., Zabula G.V. Primeneniye geneticheskogo algoritma v zadachakh adaptatsii struktur dannykh [Application of genetic algorithm in problems of adaptation of data structures]. *Iskusstvennyy intellekt – Artificial Intelligence*, 2012, no. 3, pp. 323-331.
13. Ren J., Pan W., Zheng Y., Shi Z., Yan X. Array Based HV/VH Tree: an Effective Data Structure for Layout Representation. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE C*, 2012, vol. 13, issue 3, pp. 232-237. doi: 10.1631/jzus.c1100193.
14. Attali D., Lieutier A., Salinas D. Efficient Data Structure for Representing and Simplifying Simplicial Complexes in High Dimensions. *Intern. Journal of Computational Geometry & Applications*, 2012, vol. 22, issue 4, pp. 279-303. doi: 10.1142/S0218195912600060.
15. Bastani F.B., Iyengar S.S. The effect of data structures on the logical complexity of programs. *Communication of the ACM*, 1987, vol. 30, issue 3, pp. 250-259. doi: 10.1145/214748.214760.
16. Shynkarenko V.I., Ilman V.M. Constructive-Synthesizing Structures and Their Grammatical Interpretations. I. Generalized Formal Constructive-Synthesizing Structure. *Cybernetics and Systems Analysis*, 2014, vol. 50, issue 5, pp. 655-662. doi: 10.1007/s10559-014-9655-z.
17. Weiss M.A. *Data Structures and Algorithm Analysis in C++*. London, Pearson Education Inc. Publ., 2014. 656 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. В. Скалозубом (Украина); д.физ.-мат.н., проф. В. Е. Белозёровым (Украина)

Поступила в редколлегию: 29.02.2016

Принята к печати: 17.04.2016

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

UDC 625.151

O. M. PATLASOV¹, S. O. TOKARIEV^{2*}, YE. O. PATLASOV

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*}Track-Test Branch Research Laboratory, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 38 45, e-mail tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123

³Dep. «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 patlasov.e.a@yandex.ru, ORCID 0000-0002-1593-5875

ESTABLISHMENT OF THE PERMISSIBLE TRAIN SPEED ON THE CURVED TURNOUTS

Purpose. Turnouts play a key role in the railway transportation process. One-sided and many-sided curved turnouts were railed over the last 20 years in difficult conditions (curved sections, yard necks). They have a number of geometric features, unlike the conventional one-sided turnouts. Today the normative documents prohibit laying such turnouts in curved track sections and only partially regulate the assessment procedure of their real condition. The question of establishment the permissible train speed within the curved turnouts is still open. In this regard, authors propose to set the train speed according to the driving comfort criterion using the results of field measurements of ordinates from the baseline for the particular curved turnout. **Methodology.** The article considers the criteria using which one can set the permissible speed on the turnouts. It defines the complexity of their application, advantages and disadvantages. **Findings.** The work analyzes the speed distribution along the length of the real curved turnout for the forward and lateral directions. It establishes the change rate values of unbalanced accelerations for the existing norms of the curved track sections maintenance according to the difference in the adjacent bend versine at speeds up to 160 km/h. **Originality.** A method for establishing the trains' speed limit within the curved turnouts was developed. It takes into account the actual geometric position in the plan of forward and lateral turnout directions. This approach makes it possible to establish a barrier places in plan on the turnouts limiting the train speed. **Practical value.** The proposed method makes it possible to objectively assess and set the trains' permissible speed on the basis of the ordinate measurement of the forward and lateral directions of the curved turnouts from the baseline using the driving comfort criteria. The method was tested using real turnouts, which are located within the Pridneprovsk Railway.

Keywords: turnouts; criterion; speed; acceleration; radius; driving comfort

Introduction

In recent years a tendency to reduce the cost of maintenance and operation of railway transport by introducing the resource-saving and advanced technologies, including scientific research and reasoning was targeted [13]. In the multifaceted field of railway transport travel track facilities play

a key role in ensuring transportation needs, it is a functional link between the conditional supplier and a consumer using rail tracks.

The operating length of railway tracks in the territory of Ukraine is 22.5 thousand km. Tracks at stations and running lines combine approximately 5.5 thousand of various connections and intersec-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

tions, 95% of which are turnouts. This is one of unique and at the same time demanding construction of a permanent way. If we analyze maintenance standards that are set up to the whole track, the turnouts take very nearly the first place in a variety of demands exactly to them. This is due to several design solutions that ensure locomotion of rolling stock from one track to another.

Requirements to the norms for organization and maintenance of turnouts are based on numerous theoretical and experimental studies as well as long experience of their operation.

During maintenance violations of turnouts the question arises as for their further exploitation – whether to close or limit the speed of rolling stock. Making such decisions should have well founded reasons, which can be obtained from existing regulations [7].

Among all currently laid turnouts on the main and receipt-dispatch tracks, conventional single turnouts have the largest part (about 97%). But in tight terms of stations and railway haul, limiting the use of conventional turnouts, there is a need of laying the turnouts of more complex design. To such turnouts one can include curved type P65 mark 1/1, project 2 889. Also on the railways of Ukraine there are cases of conventional turnouts presence in curved sections. In paper [6] main principles concerning setting speeds for such special cases are considered.

At present laying of conventional and curved turnouts in curve sections of the track is prohibited. But questions regarding service of those turnouts that are already been within the curves remain open. Referring to the existing regulations, turn-

out's standards are regulated by track gauges in different sections, ordinates of lateral direction, wear and indexes of relative position between separate elements of turnouts (e.g., contact tongue and stock rail). At determination the state of curved turnouts it is necessary to check not only the lateral direction ordinates but also the core one. If there are deviations from the ordinates by value longer than specified in the project, what speed is allowable?

Purpose

The purpose of this paper is to provide proposals for setting the permissible speeds of trains within the main and lateral directions of curved turnout accordingly the results of ordinates field measurements from the baseline. It is a continuation of a forward direction of a stock rail. On the basis of the developed methodology to determine the locations of speed limits and reduce expenditures for regulation of ordinates.

Methodology

One can say with reasonable confidence that today there is no integrated practice for determining and setting the permissible speeds of trains within turnouts. This is primarily due to the presence of complex structural assemblies to ensure implementation of functions assigned on turnouts. However, the work [4] formulates the requirements at turnouts design meaningfully enough, which can be transformed into criteria for permissible speeds settings.

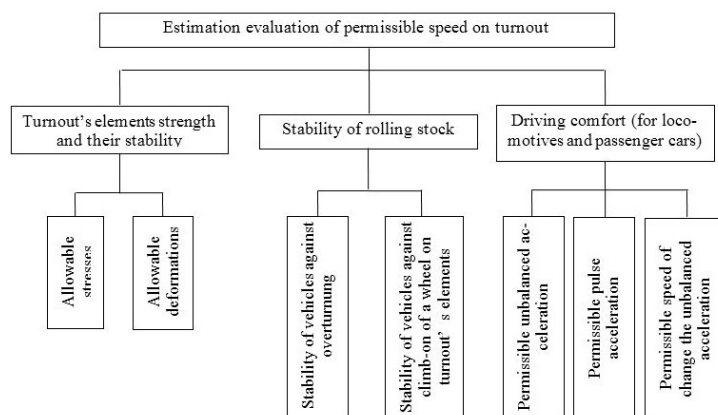


Fig. 1. The criteria for setting of the permissible speed of trains on the turnouts

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

In general, the speed on turnouts can be set with three main criteria (Fig. 1):

- strength and stability of turnouts elements;
- stability of rolling stock;
- driving comfort.

The speed of trains upon the criteria of strength and stability of turnout's elements can be presented as shape function:

$$[V] = f([\sigma], \Delta x, \Delta y), \quad (1)$$

where $[\sigma]$ – permissible stresses in elements; $\Delta x, \Delta y$ – displacements (strains) of elements in appropriate planes.

The permissible speed upon the criterion of turnout's elements strength is set on the base of stresses determination in the edges of the rail plinth by the results of theoretical calculations and experimental studies.

Theoretical calculations by the existing methodology [3] make it possible to determine stresses in rails of conventional section without many features, such as the impact of unloaded rail lines. For contact tongues, frog and counter battens aforementioned method generally can not be used because of the structure complexity and changes in cross sections of these elements of turnouts in length (Fig. 2).

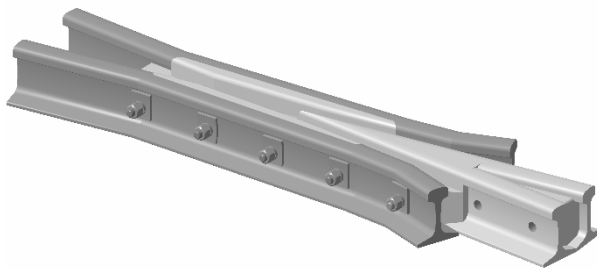


Fig. 2. Turnout frog

A more adequate assessment of stresses distribution in complex elements at theoretical calculations can be given by numerical methods for solving boundary value problems, such as the finite element method (FEM). In papers [9, 15, 16] the finite-element model elements of the permanent way, including the contact tongue with a stock rail, which are under dynamic loads were considered. That is, the FEM allows to set stresses in the elements of any geometric configuration, including prefabricated structures. The only significant disadvantage of this method is time for solving the

problem, which varies with the finite element mesh refinement and can be increased from minutes to several hours.

Experimental studies to determine the stresses which allow setting the permissible speeds of trains motion, it is reasonable to conduct for new and upgraded designs of turnouts or rolling stock [11] from the standpoint of the high prime cost of this research method.

Let us consider the following criteria for setting the permissible speed of movement within turnout (see. Fig. 2) – rolling stock stability.

In general, the dependence of speed motion subject to ensure stability of rolling stock can be presented as shape function:

$$[V] = f(R, [n], W_w, [K_{st}]), \quad (2)$$

where R – radius of transmission curve; $[n]$ – permissible stability factor against overturning of rolling stock; W_w – wind force; $[K_{st}]$ – stability factor of wheelset against climb-on of a wheel.

As shown theoretical calculations [4], the motion speed of trains subject to overturning within the transmission curve substantially exceed (≈ 1.5 times) the maximum traffic speed on the lateral direction of the turnout for appropriate mark. Therefore, this criterion within the work is not considered.

In [2] the stability factor of wheelset against wheel flange climb-on the rail is considered in depth. Attention is focused that this factor depends on the dynamic indexes of a particular type of rolling stock. They can be set accordingly the results of mathematical modeling and experimental research.

Let us consider the last criterion – driving comfort.

Permissible speed of train's motion by driving comfort criterion can be presented as:

$$[V] = f([\alpha_{ua}], [\alpha_{pulse}], [\psi]), \quad (3)$$

where $[\alpha_{ua}]$ – permissible unbalanced acceleration; $[\alpha_{pulse}]$ – permissible pulse lateral acceleration; $[\psi]$ – change rate of unbalanced acceleration.

Lateral acceleration of pulsed nature α_{pulse} appears at rolling stock entry on turnout in the area of

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

contact tongue and transition from frog to transmission curve. At a speed of 40 km/h pulsed acceleration occurs 1,6-3,3 m/c² at 50 km/h – 2,2-4,3 m/c² [5]. At speed increasing the pulse acceleration can be up to 12 m/c². [17]. Contact tongues area and frog is not highlighted as a part of this study.

Two indexes that had remained in the formula (3) is often used to set the permissible speeds not only within turnouts [1, 14], but also for circular and transmission curves [8].

According to existing maintenance norms permissible speeds of trains in the curved sections are set by the difference in adjacent bend versines [7]

$$\Delta f = |f_{i+1} - f_i|, \quad (4)$$

where f_{i+1} , f_i – bend versines in the adjacent points.

Bend versines at any point of the circular curve is [7]:

$$f_i = \frac{1000a^2}{8R}, \quad (5)$$

where a – chord length; R – curve radius.

Let us make elementary transformations

$$f_i = 125 \frac{a^2}{V^2} \frac{V^2}{R}, \quad (6)$$

Fraction $\frac{V^2}{R}$ is centrifugal lateral acceleration at this point of curve α_{rad} .

The most important feature of curve section track arrangement is the presence of outer rail cant, one of the establishing criteria is lateral unbalanced acceleration [7, 1]:

$$\alpha_{\text{ua}} = \frac{V^2}{R} - \frac{g}{S}h, \quad (7)$$

where V – trains motion speed; g – free-falling acceleration; S – distance between the axes of rails; h – cant of the outer rail.

In the formula (7) subtrahend $\frac{g}{S}h$ – is a horizontal component of vehicle gravity when driving in a curve, which is due to differences in the level of rail heads for the value h . Accordingly, if we consider the vast majority of turnouts at the railway network of Ukraine (99%), the limit rail of

lateral direction is without increase. Accordingly, the expression is valid:

$$\alpha_{\text{lat}} = \alpha_{\text{ua}} = \frac{V^2}{R}. \quad (8)$$

Then equation (6) will be as follows:

$$f_i = \frac{125a^2}{V^2} |\alpha_{\text{ua}}|. \quad (9)$$

In turn, the allowable motion speed accordingly to the criterion of permissible unbalanced acceleration, which today regulate the standards (9) is as follows:

$$V_{[\alpha_{\text{ua}}]} \leq a \sqrt{\frac{125[\alpha_{\text{ua}}]}{|f_i|}}. \quad (10)$$

As it is known, chord length a is set in dependence of curve radius [7]:

$$a = \begin{cases} 10 |_{R \leq 400} \\ 20 |_{R > 400} \end{cases}. \quad (11)$$

The length of turnout, marks 1/9 and 1/11 is approximately 31 and 33.3 meters, and the mileage of transmission curve – 11.9 and 16.5 meters. If measurements are performed in accordance with the regulations, we will obtain 2 values of bend versines f for marks 1/9 and 3 for mark 1/11. One can see that it is insufficient to set the movement speed by such limited number of data. Measuring the bend versines within the transitions curves also is complicated by presence of wings within frogs. Therefore, to assess the transfer curve position, in our opinion, is better with measurement results of ordinates (every 2 meters). Bend versines in this case are determined by the following formula [10]:

$$f_i = F_i - \frac{1}{2}(F_{i+1} + F_{i-1}), \quad (12)$$

where F_{i-1} , F_i , F_{i+1} – ordinates, that are measured from the baseline, mm. For curved turnouts the base is such line which is a conditional extension of the forward direction of the stock rail (Fig. 3).

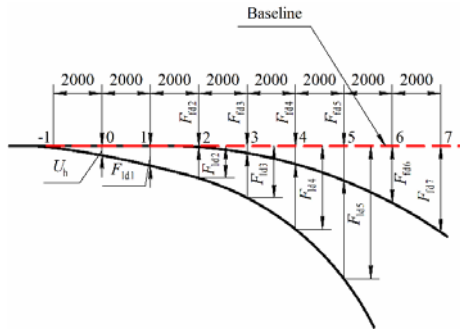


Fig. 3. Measuring ordinate scheme of the forward and lateral directions of the curved turnouts

In Fig. values F_{0i} , F_{6i} – are ordinates for main and lateral directions of turnouts.

Ignoring the angle value of chord rotation α within the transfer curve, formula (10) with (12) will be:

$$V_{[\alpha_{ua}]} \leq \sqrt{\frac{2000[\alpha_{ua}]}{F_i - \frac{1}{2}(F_{i+1} + F_{i-1})}}. \quad (13)$$

Unbalanced acceleration rate in view of physical concept of derived function can be represented as:

$$\begin{aligned} \psi(t) &= \frac{d}{dt} \alpha(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha(t)}{\Delta t} = \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\alpha(t + \Delta t) - \alpha(t)}{\Delta t} \approx \frac{\alpha(t + \Delta t) - \alpha(t)}{\Delta t}. \end{aligned} \quad (14)$$

where Δt – growth time during which acceleration value changes.

We provide replacement of variable at differentiation for constant motion speed:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \alpha(t) &= \frac{d}{dx} \alpha(x) \frac{dx}{dt} = \\ &= V \frac{d}{dx} \alpha(x) \approx V \frac{\Delta \alpha}{\Delta x}. \end{aligned} \quad (15)$$

Taking into account (4) i (9) we will find speed by criterion of permissible speed at unbalanced acceleration rate $[\psi]$:

$$V_{[\psi]} \leq 5 \sqrt[3]{\frac{a^2 [\psi] \Delta x}{|\Delta f|}}, \quad (16)$$

Rewrite the formula (4), using expressions (12):

$$\Delta f = \frac{1}{2} [F_{i-1} - 3(F_i - F_{i+1}) - F_{i+2}]. \quad (17)$$

Formula (16) will have final form:

$$V_{[\psi]} \leq 20 \sqrt[3]{\frac{[\psi]}{F_{i-1} - 3(F_i - F_{i+1}) - F_{i+2}}}. \quad (18)$$

On the basis of obtained formulas (13) and (18) speed definition is accepted the least one:

$$V_{\text{per}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \min \{V_{[\alpha_{ua}]} \}, i = \overline{1, n} \\ \min \{V_{[\psi]} \}, j = \overline{1, n-1} \end{array} \right\}, \quad (19)$$

where n – the number of measuring points.

Referring to the existing regulations, the recommended values of allowable accelerations and changes of unbalanced acceleration in accordance with [12] are:

$$- [\alpha_{ua}] = 0,7 \text{ m/c}^2 (1,0 \text{ m/c}^2);$$

$$- [\psi] = 0,6 \text{ m/c}^3.$$

The above mentioned values of acceleration act on the floor level of the passenger car or locomotive in the center pivot section. These values are significantly different from the acceleration acting on the level of the wheelset box. This is explained by the presence of spring suspension, which acts as a filter of low-frequency vibrations of sprung mass. We believe that to set the allowable movement speed in a curved sections of the track one should use it is this acceleration, acting at the level of box, because the motion trajectory of the gravity center in the wheelset when movement in a curve almost coincides with the forms of horizontal and vertical inequalities (provided that the wheel flange is pressed to the limit rail).

Using formulas (10) and (16) it should be analyzed existing regulations of curved sections maintenance of the track upon direction in the plan and establish values α_{ua} and ψ for appropriate difference in adjacent bend versines Δf (Table 1).

Unbalanced acceleration α_{ua} (Table 1) was obtained at maximum value of curved radius for given grade of failure (e.g. for I and V degrees and $R = 4000$ m). Bend versines is determined by the formula (4).

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

In some cases obtained values α_{ua} and ψ exceed recommended ones and explains this is the place of performance data by driving comfort.

Table 1

α_{ua} and ψ values with deviation towards the railway track in plan
for the sections at movement speeds of 140-160 km/h

| Degree of deviation | Radius, m | Difference in bent versions, measured after 10 m from mid-chord, length 20 m, mm | Allowable speed, km/hour, at length deviation, m | | Unbalanced acceleration, m/c ² | Change rate of unbalanced acceleration, m/c ³ |
|---------------------|--|--|--|----------------------|---|--|
| | | | to 20 incl. | above 20 to 40 incl. | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| I | At all radii ¹ | ot10 (incl.) | 160/90 ⁴ | | 1,71/0,54 | 1,76/0,31 |
| II | to 2000 (incl.) ¹ over 2000 | – over 10 to 18 (incl.) | | | – 1,7/0,54 | – 3,16/0,56 |
| III | to 2000 (incl.) ¹ over 2000 | – over 18 to 25 (incl.) | | | – 1,98/0,63 | – 4,39/0,78 |
| IV | to 1800 (incl.) ² >1800 to 2000 (incl.) over 2000 | over 10 to 25 (incl.) | 140/90 | 140/90 | 2,27/0,94 | 2,94/0,78 |
| | | over 25 to 35 (incl.) | 80/60 | 120/90 | 0,84/0,47 | 0,77/0,32 |
| | | over 18 to 25 (incl.) | 140/90 | 140/90 | 1,6/0,66 | 2,94/0,78 |
| | | over 25 to 35 (incl.) | 80/60 | 120/90 | 0,62/0,35 | 0,77/0,32 |
| | | over 25 to 35 (incl.) | | | 0,59/0,33 | 0,77/0,32 |
| V | At all radii ³ | over 35 to 65 (incl.) | 40/40 | 80/80 | 0,57/0,57 | 0,18/0,18 |
| | | over 65 to 90 (incl.) | 15/15 | 40/40 | 0,09/0,09 | 0,01/0,01 |
| | | over 90 | Motion is closed | | – | – |

Notes: ¹radius, which is taken in the calculations is 1500 m; ²radius, which is taken in the calculations is 1 000 m; ³radius, which is taken in the calculations is 300 m; ⁴numerator – for passenger trains, the denominator – for freight ones

With similar analogy we will determine value α_{ua} i ψ for turnout, type P65 mark 1/11 in project 2889 with radii of turnout curve:

- for forward direction – 600 m;
- for lateral direction – 200 (350) m.

At this the maximum speed of rolling stock for this turnout project is:

- for forward direction – 70 km/h;
- for lateral direction – 40 km/h.

Due to the requirement that the difference of ordinates deviation of transmission curve in adjacent points should not exceed ± 2 mm [7], we will get:

- for forward direction – $\alpha_{ua} = 0,95$ m/c²; $\psi =$

7,35 m/c³;

- for lateral direction – $\alpha_{ua} = 0,83$ m/c², $\psi = 2,7$ m/c³.

We see that obtained values differ significantly from the recommended ones.

Findings

Taking into account, that standards α_{ua} and ψ , operating at the level of the wheel pair axle box, to day, is not established, one can use an analogue method (which, by the way, is used at initial angle definition on turnouts [4]) to determine the permissible speed of trains within turnouts.

Method of determining the permissible speed upon the travelling comfort criterion was tested at

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

a real turnout. Tests and calculation results for the lateral direction are presented at Table 2.

Table 2

**Evaluation of the allowable speed
on the lateral direction of the turnouts**

| Point number | Distance from the root of contact tongue X_i , mm | Ordinates F_i , mm | $V_{[\alpha]}$ | $V_{[\psi]}$ |
|--------------|---|----------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| -1 | -2 | 116 | - | - |
| 0 | 0 | 181 | 60 | 70 ¹ |
| 1 | 2 | 258 | 57 | 70 ¹ |
| 2 | 4 | 348 | 62 | 40 |
| 3 | 6 | 449 | 40 | 30 |
| 4 | 8 | 578 | 64 | 30 |
| 5 | 10 | 696 | 40 | 40 |
| 6 | 12 | 842 | 61 | 70 ¹ |
| 7 | 14 | 999 | 57 | 68 |
| 8 | 16 | 1169 | 65 | 47 |
| 9 | 18 | 1350 | 70 ¹ | 70 ¹ |
| 10 | 20 | 1531 | 70 ¹ | 70 ¹ |
| 11 | 22 | 1713 | 70 ¹ | - |
| 12 | 24 | 1894 | - | - |

Note: ¹speed is limited till maximum by forward direction

We see that the limitation is reached only by criterion ψ in two places. Having corrected in the plan value of ordinates in pointed areas one can achieve increasing the speed, set for given curved turnout.

Originality and practical value

The method of establishing the permissible speed of movement within the curved turnouts upon the travelling comfort criterion was proposed. This approach takes into account the actual geometric position of the turnout's lateral direction. Versatility of technique gives the possibility to control and direct direction of turnouts.

The theoretical results were tested on the results of ordinates field measurements for curved lateral direction of turnouts.

Conclusions

1. Objectively the main criteria for permissible speeds set of trains within the turnouts that exist today were analyzed.

2. Technique for measuring the coordinates of forward and curved lateral direction of curved turnouts that are in curved sections is recommended. The proposals are offered to determine the permissible speed of trains within the curved turnouts by the driving comfort criterion based on ordinates measurements from the baseline.

Permissible values α_{ua} and ψ were grounded for curved turnouts, based on the deviation of curve ordinates in adjacent locations.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Ангелейко, В. И. О допускаемых скоростях движения поездов по основному пути криволинейных стрелочных переводов / В. И. Ангелейко // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава : межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетр. ин-т инженеров трансп. – Днепропетровск, 1983. – Вып. 228. – С. 40–44.
2. Блохин, Е. П. Об эквивалентности критериев безопасности от схода колеса с рельсов при использовании направляющей либо боковой силы / Е. П. Блохин, М. Л. Коротенко, И. В. Клименко // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 3. – С. 74–81. doi: 10.15802/stp-2013/14538.
3. Даниленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП – 0117 / Е. І. Даниленко, В. В. Рибкін. – Київ : Транспорт України, 2005. – 119 с.
4. Даниленко, Э. И. Стрелочные переводы железных дорог Украины. Технология производства. Эксплуатация в пути. Расчеты и проектирование / Э. И. Даниленко, А. П. Кутах, С. Д. Тараненко. – Киев : Киев. ин-т ж.-д. трансп., 2001. – 296 с.
5. Желнин, Г. Г. Особенности установления допускаемых скоростей на стрелочных переводах / Г. Г. Желнин // Решение задач взаимодействия подвижного состава и пути реального очертания : сб. науч. тр. / ВНИИЖТ. – Москва : Транспорт, 1985. – С. 34–38.
6. Желнин, Г. Г. Установление допускаемых скоростей движения поездов на стрелочных переводах, уложенных в кривых участках пути / Г. Г. Желнин, Л. О. Грачева, А. П. Татуревич // Исследование взаимодействия пути и соврем. подвиж. состава : межвуз. сб. науч. тр. / Днеп-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- ропетр. ин-т инженеров трансп. – Днепропетровск, 1987. – Вып. 257. – С. 4–14.
7. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України : ЦП-0269 / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган, В. О. Яковлев [та ін.]. – Київ : Поліграфсервіс, 2012. – 465 с.
 8. Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на складних ділянках плану залізниці / М. Б. Курган, Д. М. Курган, Н. П. Хмелевська, С. Ю. Байдак // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 2 (50). – С. 83–94. doi: 10.15802/stp2014/23760.
 9. Настечик, М. П. Дослідження напруженого стану в елементах скріплення типу КПП-5 під дією рухомого складу / М. П. Настечик, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 2 (56). – С. 146–156. doi: 10.15802/stp2015/42174.
 10. Патласов, О. М. Удосконалення методики вимірювання горизонтальних нерівностей у плані / О. М. Патласов, С. О. Токарєв // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 4 (58). – С. 121–131. doi: 10.15802/stp2015/49219.
 11. Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію 1520 мм : ДСТУ 7571:2014. – Чинний від 2014–02–12. – Київ : М-во економ. розвитку України, 2014. – 33 с.
 12. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії : ЦП-0267 / О. М. Патласов, В. В. Рибкін, Ю. В. Палейчук [та ін.]. – Київ : Поліграфсервіс, 2012. – 25 с.
 13. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Electronic resource] : схвалено розпорядж. Кабінету Міністрів України від 20 жовт. 2010 р. № 2174-р. – Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80>. – Title from the screen. – Accessed : 11.02.2016.
 14. Шаройко, В. С. К выбору формы переводной кривой в стрелочных переводах для высоких скоростей движения / В. С. Шаройко // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава в пределах стрелочных переводов : сб. тр. / Ленингр. ин-т инженеров ж.-д. тр.-та. – Ленинград, 1962. – Вып. 188. – С. 151–166.
 15. Effects of profile wear on wheel–rail contact conditions and dynamic interaction of vehicle and turnout / J. Xu, P. Wang, L. Wang, R. Chen // Advances in Mechanical Engineering. – 2016. – Vol. 8, № 1. – P. 1–14. doi: 10.1177/1687814015623696.
 16. Herian, J. Modelling of structure and properties of pearlitic steel and abrasive wear of the turnout frog in the cyclic loading conditions / J. Herian, K. Aniolek // J. of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2011. – Vol. 49. – Iss. 1. – P. 71–81.
 17. Kim, S. J. A Study on the Running Safety of F26 Turnout and Vehicle Model / S. J. Kim, B.-G. Eom, H. S. Lee // Intern. J. of Railway. – 2012. – Vol. 5, № 4. – P. 156–162. doi: 10.7782/IJR.2012.5.4.156.
 18. UIC Code 513 R. Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles. – Paris : Int. Union of Railways, 1995. – 81 p.

О. М. ПАТЛАСОВ¹, С. О. ТОКАРЄВ^{2*}, Є. О. ПАТЛАСОВ³

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*}Колієвипробувальна галузева науково-дослідна лабораторія, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 38 45, ел. пошта tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123

³Каф. «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 patlasov.e.a@yandex.ru, ORCID 0000-0002-1593-5875

ВСТАНОВЛЕННЯ ДОПУСТИМИХ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ ПО КРИВОЛІНІЙНИХ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДАХ

Мета. Стрілочні переводи відіграють одну з ключових ролей при виконанні перевізного процесу на залізничному транспорті. Протягом останніх 20 років у складних умовах (криві ділянки, горловини станцій) укладали одно- та різносторонні криволінійні стрілочні переводи, які мають ряд геометричних особливостей, на відміну від односторонніх звичайних. На сьогоднішній день нормативні документи забороняють нове

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

укладання таких переводів у криві ділянки колії та тільки частково регламентують порядок оцінки їх реального стану. Залишається відкритим питання встановлення допустимої швидкості руху в межах криволінійних стрілочних переводів. Тому в науковому дослідженні пропонується встановлювати швидкість руху поїздів за критерієм комфортабельності їзди, спираючись на результати натурних вимірювань ординат від базисної лінії для конкретного криволінійного стрілочного переводу. **Методика.** Розглянуто критерії, за допомогою яких можна встановити допустимі швидкості руху на стрілочних переводах. Встановлено складність їх застосування, переваги та недоліки. **Результати.** Проаналізовано розподіл швидкостей по довжині реального криволінійного стрілочного переводу для прямого та бокового напрямку. Встановлено величини швидкості зміни непогашених прискорень для існуючих норм утримання кривих ділянок колії за різницею у суміжних стрілах вигину при швидкостях до 160 км/год. **Наукова новизна.** Авторами розроблено методику встановлення допустимої швидкості руху поїздів у межах криволінійного стрілочного переводу, яка враховує реальне геометричне положення у плані основного та бокового напрямків переводу. Даний підхід дає можливість встановити місця у плані на стрілочному переводі, які лімітують швидкість руху. **Практична значимість.** Запропонована методика дає можливість об'єктивно оцінити та встановити допустиму швидкість руху поїздів на основі вимірювання ординат основного і бокового напрямку криволінійного стрілочного переводу від базисної лінії за критерієм комфортабельності їзди. Методика була апробована на реальних стрілочних переводах, які знаходяться в межах Придніпровської залізниці.

Ключові слова: стрілочні переводи; критерій; швидкість; прискорення; радіус; комфортабельність їзди

А. М. ПАТЛАСОВ¹, С. А. ТОКАРЕВ^{2*}, Е. А. ПАТЛАСОВ

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*}Путеиспытательная отраслевая научно-исследовательская лаборатория, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, 49010, Украина, тел./факс +38 (056) 793 38 45, эл. почта tokarevsergeyaleks@yandex.ua, ORCID 0000-0002-2607-3123

³Каф. «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 patlasov.e.a@yandex.ru, ORCID 0000-0002-1593-5875

УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПО КРИВОЛИНЕЙНЫМ СТРЕЛОЧНЫМ ПЕРЕВОДАМ

Цель. Стрелочные переводы играют одну из ключевых ролей при выполнении перевозочного процесса на железнодорожном транспорте. В течение последних 20 лет в сложных условиях (кривые участки, горловины станций) укладывали одно- и разносторонние криволинейные стрелочные переводы, которые имеют ряд геометрических особенностей, в отличие от односторонних обыкновенных. На сегодняшний день нормативные документы запрещают вновь укладывать такие переводы в кривые участки пути и только частично регламентируют порядок оценки их реального состояния. Остается открытым вопрос установления допустимой скорости движения в пределах криволинейных стрелочных переводов. Поэтому в научном исследовании предлагается устанавливать скорость движения поездов по критерию комфортабельности езды, опираясь на результаты натурных измерений ординат от базовой линии для конкретного криволинейного стрелочного перевода. **Методика.** Рассмотрены критерии, с помощью которых можно установить допустимые скорости движения на стрелочных переводах. Установлена сложность их применения, преимущества и недостатки. **Результаты.** Проанализированы распределения скоростей по длине реального криволинейного стрелочного перевода для основного и бокового направления. Установлены величины скорости изменения непогашенных ускорений для существующих норм содержания кривых участков пути по разнице в смежных стрелах изгиба при скоростях до 160 км/ч. **Научная новизна.** Учеными разработана методика установления допустимой скорости движения поездов в пределах криволинейного стрелочного перевода, которая учитывает реальное геометрическое положение в плане основного и бокового направления перевода. Данный подход дает возможность установить места в плане на стрелочном переводе, которые лимитируют скорость движения. **Практическая значимость.** Предложенная методика дает возможность объективно оценить и установить допустимую скорость движения поездов на основе измерения ординат основного

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

и бокового направления криволинейного стрелочного перевода от базисной линии по критерию комфортабельности езды. Методика была апробирована на реальных стрелочных переводах, которые находятся в пределах Приднепровской железной дороги.

Ключевые слова: стрелочные переводы; критерий; скорость; ускорение; радиус; комфортабельность езды

REFERENCES

1. Angeleyko V.I. O dopuskayemykh skorostyakh dvizheniya poyezdov po osnovnomu puti krivolineynykh strelochnykh perevodov [On the permissible train speed on the main track of the curved turnouts]. *Issledovaniye vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava* [Research of rolling stock and track interaction], 1983, issue 228, pp. 40–44.
2. Blokhin Ye.P., Korotenko M.L., Klimenko I.V. Ob ekvivalentnosti kriteriyev bezopasnosti ot skhoda kolea s relsov pri ispolzovanii napravlyayushchey libo bokovoy sily [On the equivalence of the security criteria of the gathering wheels with the rails using the rail or lateral force]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2013, no. 3, pp. 74–81. doi: 10.15802/stp2013/14538.
3. Danilenko E.I., Rybkin V.V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist: TsP-0117* [Rules of railway track calculation for strength and stability: TsP-0117]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2005. 119 p.
4. Danilenko E.I., Kutakh A.P., Taranenko S.D. *Strelochnyye perevody zheleznykh dorog Ukrainy. Tekhnologiya proizvodstva. Ekspluatatsiya v puti. Raschety i proektirovaniye* [Turnouts of Ukrainian railways. Production technology. Operation on passage. Calculations and design]. Kyiv, Kiyevskiy institut zheleznodorozhnogo transporta Publ., 2001. 296 p.
5. Zhelnin G.G. Osobennosti ustanovleniya dopuskayemykh skorostey na strelochnykh perevodakh [Features of the permissible speeds establishment on the turnouts]. *Resheniye zadach vzaimodeystviya podvizhnogo sostava i puti realnogo ochertaniya* [Problem solving of interaction of the rolling stock and the track of real contours], 1985, pp. 34–38.
6. Zhelnin G.G., Gracheva L.O., Taturevich A.P. Ustanovleniye dopuskayemykh skorostey dvizheniya poyezdov na strelochnykh perevodakh, ulozhennykh v krivykh uchastkakh puti [Establishment of the permissible train speeds on the turnouts laid in the curved track sections]. *Issledovaniye vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava* [Research of rolling stock and track interaction], 1987, issue 257, pp. 4–14.
7. Orlovskiy A.M., Kurhan M.B., Yakovliev V.O. *Instruktsiia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts Ukrainy: TsP-0269* [Instruction on the organization and maintenance of the railway track: TsP-0269]. Kyiv, TOV «NVP Polihrafservis» Publ., 2012. 465 p.
8. Kurhan M.B., Kurhan D.M., Khmelevska N.P., Baidak S.Yu. Metodyka vyznachennia dopustymykh shvydkosti rukhu poizdiv na skladnykh dilianках planu zaliznytsi [Methodology of determination of permissible train movement speeds on difficult sections of railroad plan]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 2 (50), pp. 83–94. doi: 10.15802/stp2014/23760.
9. Nastechyk M.P., Bondarenko I.O., Markul R.V. Doslidzhennia napruzhenoho stanu v elementakh skriplennia typu KPP-5 pid diieiu rukhomoho skladu [Investigation of stress state in the elements of rail fastenings, type KPP-5 under the influence of rolling stock]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 2 (56), pp. 146–156. doi: 10.15802/stp2015/42174.
10. Patlasov O.M., Tokariyev S.O. Udoskonalennia metodyky vymiriuvannia horyzontalnykh nerivnostey u plani [Improvement of the measurement methodology of the horizontal irregularities in plan]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 4 (58), pp. 121–131. doi: 10.15802/stp2015/49219.
11. DSTU 7571:2014. *Rukhomyy sklad zaliznyts. Normy dopustymoho vplyvu na zaliznychnu koliyu 1520 mm.* [State Standard 7571:2014. Railway rolling stock. Permissible impact norms on the railway track of 1520 mm]. Kyiv, Minekonomrozvytku Ukrayiny Publ., 2014. 33 p.
12. Patlasov O.M., Rybkin V.V., Paleichuk Yu.V., Solomakha S.O. *Tekhnichni vkazivky shchodo otsinky stanu reikovoї kolii za pokaznykamy koliievymiriuvalnykh vahoniv ta zabezpechennia bezpeky rukhu poizdiv pry vidstupakh vid norm utrymannia reikovoї kolii: TsP-0267* [Technical instructions on the track state assessment according to the measures of the track-measuring cars and the train movement safety provisions at deviations from the track maintenance norms]. Kyiv, TOV «NVP Polihrafservis», 2012. 25 p.
13. *Transportna stratehiia Ukrainy na period do 2020 roku no. 2174-r.* (The transport strategy of Ukraine for the period to 2020 no. 2174-r). Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80> (Accessed 4 November 2015).
14. Sharoyko V.S. K vyboru formy perevodnoy krivoy v strelochnykh perevodakh dlya vysokikh skorostey dvizheniya [To the choice of the turnout curve form on the for the high speed turnouts]. *Issledovaniye vzai-*

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

- modeystviya puti i podvizhnogo sostava v predelakh strelochnykh perevodov* [Investigation of the track and rolling stock interaction within the turnouts], 1962, issue 188, pp. 151-166.
15. Xu J., Wang P., Wang L., Chen R. Effects of profile wear on wheel–rail contact conditions and dynamic interaction of vehicle and turnout. *Advances in Mechanical Engineering*, 2016, vol. 8, no. 1, pp. 1-14. doi: 10.1177/1687814015623696.
 16. Kim S.J., Eom B.-G., Lee H.S. A Study on the Running Safety of F26 Turnout and Vehicle Model. *International Journal of Railway*, 2012, vol. 5, no. 4, pp. 156-162. doi: 10.7782/IJR.2012.5.4.156.
 17. Herian J., Aniolek K. Modelling of structure and properties of pearlitic steel and abrasive wear of the turnout frog in the cyclic loading conditions. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2011, vol. 49, issue 1, pp. 71-81.
 18. UIC Code 513 R. Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles. Paris, Int. Union of Railways Publ., 1995. 81 p.

Prof. V. D. Petrenko, D. Sc. (Tech.) (Ukraine); Prof. O. M. Darenskyi, D. Sc. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Dec. 21, 2015

Accepted: March 25, 2016

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

UDC [669.14:539.4]:629.4.027.4

L. I. VAKULENKO^{1*}, D. M. BOLOTOVA^{2*}, S. V. PROYDAK^{3*}, M. A. GRISCHENKO^{4*},
I. O. VAKULENKO^{5*}

^{1*} Prydniprovsk Railway Management, K. Marks St., 108, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. + 38 (056) 793 00 59, e-mail dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0003-2616-740X

^{2*} Dnipropetrovsk Professional Railway Lyceum, Universal Lane, 7a, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49056, tel. +38 (056) 376 43 83, e-mail dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0001-6947-3963

^{3*} Dep. «Materials Technology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0003-2439-3657

^{4*} Dep. «Materials Technology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail grischenko@live.ru, ORCID 0000-0002-0091-1387

^{5*} Dep. «Materials Technology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1916

INFLUENCE OF SELF-TEMPERING TEMPERATURE ON STRENGTH OF RAILWAY WHEEL DISK AFTER ACCELERATED COOLING

Purpose. The paper aims at estimation of resource of strength increase for railway wheel disk. **Methodology.** The material for research was carbon steel of railway wheel containing 0.57%C, 0.65%Si, 0.45%Mn, 0.0029%S, 0.014%P, 0.11%Cr. A railway wheel was heated to the temperatures above A_{c3} and was held at this temperature until the completion of austenite homogenization processes and then the disk was cooled at a growing rate to a certain temperature. A temperature interval of completion of the speed-up wheel disk cooling was 200-450 °C. Structure was studied with the use of research methods under electronic and light microscopes. After accelerated cooling the estimation of metal structure imperfection degree was carried out with the use of X-ray structural analysis method. The stress and yielding limit of carbon steel were determined at tension, at a speed of deformation $10^{-3} s^{-1}$. The microhardness of steel structural components was estimated using the microhardness tester of PMT-3 type. **Findings.** The properties complex of railway wheel carbon steel depending on the temperature of the accelerated cooling termination is determined by the correlation of soften and work-hardening processes development. The effect of work-hardening is based on blocking of mobile dislocations due to a precipitation carbon atoms and dispersion work-hardening from the formed particles of carbide phase. At the temperatures of the accelerated cooling termination of carbon steel higher than 300-350 °C the decrease rate of strength properties is determined by the exceeding of total soften effect from disintegration of solid solution, acceleration of spheroidization and coalescence of cementite particles above the dislocations blocking by the carbon atoms and dispersion work-hardening. **Originality.** Authors proved that the strength level of the railway wheel carbon steel from the temperature of accelerated cooling completion is determined by the influence ratio of the solid solution saturation degree and dispersion

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

work-hardening from a carbide phase. For the temperatures of accelerated cooling termination 200–300 °C a decrease of solid solution saturation degree is a basic factor, which determines the level of the strength characteristic. **Practical value.** When making the whole-rolled railway wheel one can increase the strength limit of disk metal using the accelerated cooling to the middle interval of temperatures, which was successfully proven by authors.

Keywords: dislocations; self-tempering temperature; accelerated cooling; railway wheel disk

Introduction

A complex form of railway wheel elements crossing and their large thickness have for a long time restrained the application of thermal hardening in order to achieve the high strength state in them. In operation of the railway wheel the disk undergoes complicated total loads. On this basis the development of proposals to improve the strength characteristics of railway wheel disk is an important scientific and technical task.

As compared to the other wheel elements the disk has the smallest thickness. Taking into account sufficiently high stability of austenitic phase in the carbon steel of railway wheel [11] one can hope to achieve the cooling rates close to the critical value during the accelerated cooling in metal volumes near the surface of the main heat removal.

State of the problem. During the thermal hardening of the disk for solid railway wheels formation of the structure gradient from the heat removal surface is accompanied by some change in complex of properties [1, 5]. Investigations of structural transformations using the technology of interrupted accelerated cooling determined that a significant influence in the achievement of properties level is caused by the development self-tempering processes [6, 7]. Taking into account the continuous nature of the cooling change rate in different layers of the wheel disk metal depending on their distance from the surface of intense heat removal, the structural condition of the metal should meet the tempering at a certain temperature [4].

Thus, during the interrupted accelerated cooling when the structure gradient on the disk cross section is determined solely by the temperature of cooling termination [2, 10], the further metal tempering due to the heating from the internal volumes heat is accompanied by the complex structural changes in the internal structure [4–6]. On this basis, further study of structural changes in the self-tempering process after the accelerated cooling to a certain temperature of cooling termination presents certain practical interest.

Purpose

The article aims to define the strength increase resource of the railway wheel disk.

Methodology

The material for research was carbon steel of railway wheel containing 0.57%C, 0.65%Si, 0.45%Mn, 0.0029%S, 0.014%P, 0.11%Cr. A railway wheel was heated to the temperatures above A_{c3} and was held at this temperature until the completion of austenite homogenization processes and then the disk was cooled at a growing rate to a certain temperature. A temperature interval of completion of the speed-up wheel disk cooling was 200–450 °C. Structure was studied with the use of research methods under electronic and light microscopes [2]. After accelerated cooling the estimation of metal structure imperfection degree was carried out with the use of X-ray structural analysis method. The stress and yielding limit of carbon steel were determined at tension, at a speed of deformation $10^{-3} s^{-1}$. The microhardness of steel structural components was estimated using the microhardness tester of PMT-3 type.

Findings

Research of the internal structure of heat hardened carbon steel from wheel disk confirmed qualitative correspondence with known experimental data [1, 4]. Metal structure near the surface of the railway wheel disk after rapid cooling to a certain temperature (the temperature of accelerated cooling termination) is to a great degree similar to the structure consisting of martensite tempering products at this temperature [8–10].

The Figure 1 shows the structure of carbon steel samples after accelerated cooling to the temperature 200 °C. Analysis of the internal structure shows that one can observe the signs of rail martensite after cold tempering (Figure 1) in the metal volumes near the surface of the main heat removal when the temperature of accelerated cooling termi-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

nation is about 200 °C. Similar to the martensite after tempering from the separate heating at the same temperature, thickness of the formed martensite rails was approximately in the range of 0.1 to 0.8 microns. On the edges of the separate rails and their stacks there are the fine carbide phase particles with dimensions of approximately 0.03-0.04 microns. As compared to the bright-field microstructure images, when because of the low dislocation density and specific contrast it is quite difficult to classify the carbide phase, one used the image analysis in a dark field. The images in the dark field, in the cementite reflexes the particles are sufficiently clear. In addition, it was possible to watch the separation of dispersed carbide particles on the dislocation lines in the middle of certain martensite rails and line form, with random orientation (Fig. 1).

Formation of the carbide phase is due to the development self-tempering process during the accelerated cooling.

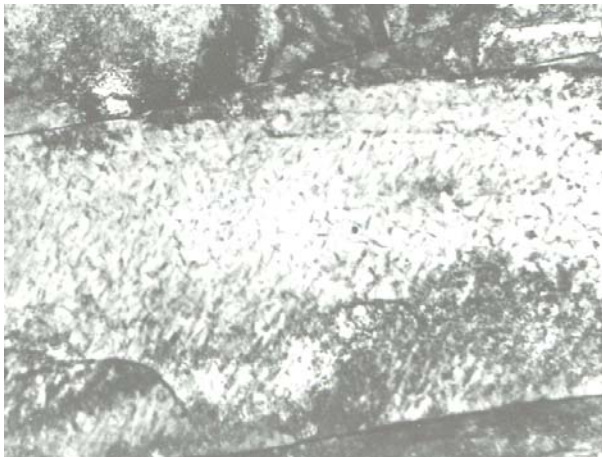


Fig. 1. The steel structure after accelerated cooling to 200 °C. Magnification is 18 000

With further increase of the distance from cooling surface, the metal after structures forming according to the sliding or intermediate mechanisms undergoes the tempering at higher temperatures. The above mentioned influence on the processes of structure formation is similar in nature to the increase of temperature of the accelerated cooling termination.



Fig. 2. The steel structure after accelerated cooling to 400 °C. Magnification is 18 000

The temperature increase of accelerated cooling termination to 400 °C is accompanied by the fully expected qualitative changes in the internal structure of metal (Fig. 2). In the carbon steel structure there are signs of initial stages of the processes similar to polygonization. They include the formation of focuses from the interwoven dislocations and the existence of the certain amount of broken contours from the dislocation groups. The simultaneous presence of cementite globules in the middle of microvolumes of metal with low dislocations density proves not only development, but also termination of polygonization during self-tempering of carbon steel after accelerated cooling. As a result of these processes the structure similar to the modulated one is forming. Some dislocation pits with certain dislocation density in the middle are separated by sufficiently broad walls of dislocations.

The formed dislocation cell structure in form is approaching the polyhedron. The middle part of the dislocation cells is foremost cleared of unbound dislocations. At the same time, there is a significant amount of cementite globules in the structure. Their size is significantly greater in comparison with the self-tempering temperature 200 °C (Fig. 1). Moreover, in the heat process from the recessed metal layers after termination of accelerated cooling to 400 °C, it takes place a further carbon depletion of solid solution, increase of the average size of carbide particles and recombination of dislocations that reduces their density (Fig. 2).

Thus, after accelerated cooling termination, the higher distance from the surface of main heat removal the higher temperature of the metal self-tempering.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

In metal volumes, which are close to the middle of the wheel disc the microstructure is formed by force according to the diffusion mechanism.

Analysis of the internal structure of rapidly cooled metal shows that the structure consists of fine differentiated perlite with small amounts of structurally free ferrite spaced on the edges of perlite colony.

The thickness of the cementite perlite plates is 0.02-0.04 microns and the layers of ferrite to 0.15 microns. Detailed studies revealed that the structurally free ferrite grains in turn consist of sub grains, the size of which varies in the range 1.5-3.5 microns. The metal volumes in the middle of sub grains have high density of interlocked dislocations and focuses with needlelike ferrite form. The existence of these structural components can be considered as the evidence of defined heterogeneity of cooling rate distribution over the disk cross section or it is connected to liquation of chemical elements in steel microvolumes [12].

Based on the results of the known studies [1, 2, 13], given structural state of carbon steel near the surface of the main heat removal consists of structural components that were formed as a result of martensite-bainitic transformation with self-tempering at temperatures of 200-300 °C. The steel strength level with the above mentioned structures can vary in the range 1300-1200 MPa depending on the chemical elements concentration within the grade constitution.

Taking into account the continuous nature of the increase in temperature of accelerated cooling termination of metal layers depending on their distance from the surface of forced cooling, the strength level of carbon steel under study will certainly decrease. Herewith the metal structure in the above mentioned layers will consist of different correlation between the focuses of martensite-bainitic structures after self-tempering near the disc surface to ferrite-perlitic structures with different morphology of phase components in the middle.

Given that the strength of carbon steel with martensite structure is primarily determined by the degree of solid solution supersaturation, increase of self-tempering temperature will be accompanied by quite natural development of the processes of its decay. At the same time, as it was described above, the places of disengagement of carbon atoms from the solid solution on dislocations further become globules of carbide phase.

Thus, the development of self-tempering process from the temperature of the forced cooling termination actually determines the correlation between the two processes of steel strengthening: from the supersaturation of solid solution and dispersion strengthening from the carbide phase particles. On this basis, it is necessary to assess the correlation of these influencing factors depending on the self-tempering temperature on the strength characteristics of railway wheel carbon steel.

Analysis of ferrite component microhardness shows that in the process of accelerated cooling and holding at the temperatures forced cooling termination, starting from 200 °C one can observe the continuous decrease of the carbon atoms concentration in the solid solution (Fig. 3).

At this, development of the steel softening processes with temperature increase of accelerated cooling termination is to a great extent caused by kinetics of carbon atoms redistribution between the crystal structure defects and the places in the crystalline lattice, defining its tetragonality. One can assess the change in degree of solid solution supersaturation by carbon atoms using the values of ferrite micro hardness (H_μ). According to angular coefficient of dependence $H_\mu = f(t)$, where t is the temperature of accelerated cooling termination for the temperature range 200-300 °C, reduction in degree of solid solution carbon supersaturation is caused by high density of defects in the crystal structure and, first of all, in the dislocations. One can certainly assume that starting from the temperature 350 °C almost complete depletion of resource of disengagement of carbon atoms on dislocations is achieved. Confirmation of this statement is a slowdown in the decrease of H_μ value in the temperature range 350-400 °C (Fig. 3) and a very small reduction in the width of the X-ray interference (110) (Fig. 4). Then, starting from the 350-400 °C temperature we can observe a progressive decrease in the ferrite hardness.

As compared to lower temperature of accelerated cooling termination (200-300 °C), the nature of metal softening is caused by the qualitatively different processes of structural transformations.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

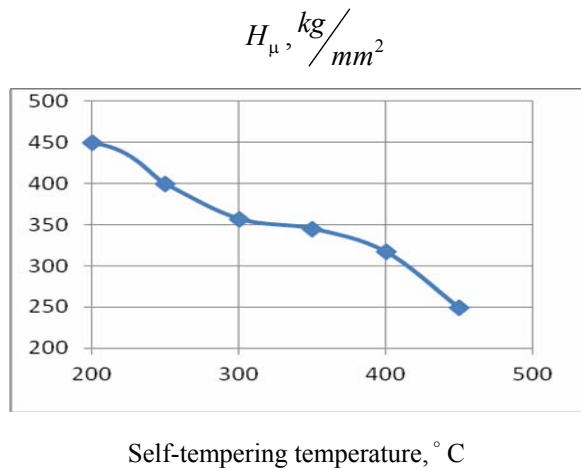


Fig. 3. Dependence of ferrite microhardness on the self-tempering temperature of the carbon steel after accelerated cooling

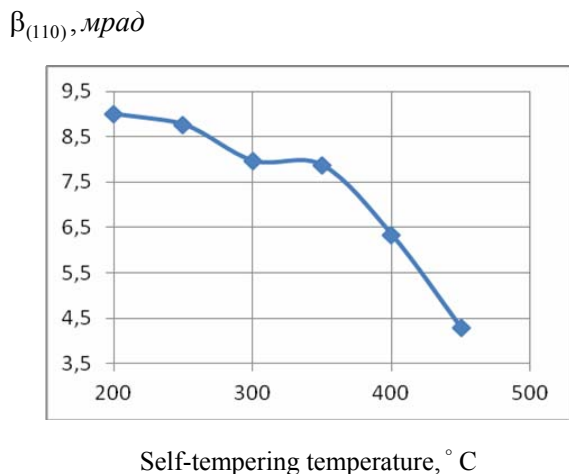


Fig. 4. Dependence of expansion of x-ray photography interference (110) of ferrite on the carbon steel after accelerated cooling

Indeed, as show the works [2, 3, 9], starting from the tempering temperature 350 °C carbon steels after martensite quenching already have a certain amount of fine particles of carbide phase. On this basis, the carbon depletion of solid solution will take place due to direct diffusion of carbon atoms from solid solution for carbide particles. This is to a great extent confirmed by the rapid decline in the expansion of X-ray interference (110) (Fig. 4). The correlation between these processes of structural transformations in rapidly cooled carbon steel is determined solely by the temperature of forced cooling termination and is confirmed by the strength change (Fig. 5).

The dependence nature analysis of the stress and yielding limits confirms the complex nature of structural transformations depending on the temperature of metal accelerated cooling termination. We can observe corresponding decrease in strength characteristics for the temperatures 200-300 °C, due to reducing in degree of solid solution supersaturation.

Almost equidistant run of dependency curves for σ_B and σ_T (Fig. 5) shows that the main influencing factor is the supersaturation degree of solid solution by carbon atoms in the process of accelerated cooling and the strengthening from the the development of strain hardening has much lesser influence. This is caused by the fact that the development of strain hardening processes is greatly exaggerated by the effect of metal softening due to the carbon depletion of solid solution (Fig.3, 4).

On the other hand, the process of carbon atoms release from the solid solution has dual effect on the strength properties of metal. Thus, the disengagement of carbon atoms from the octahedral sites of ferrite crystal lattice on the dislocations will further promote their strengthening [3, 9, 14]. According to the nature of influence on the hardness this process relates to the strengthening.

Reducing the carbon concentration in ferrite contributes to the appearance of additional quantities of cementite dispersed particles (Fig. 2). This should improve the strength properties due to the processes of dispersion strengthening.

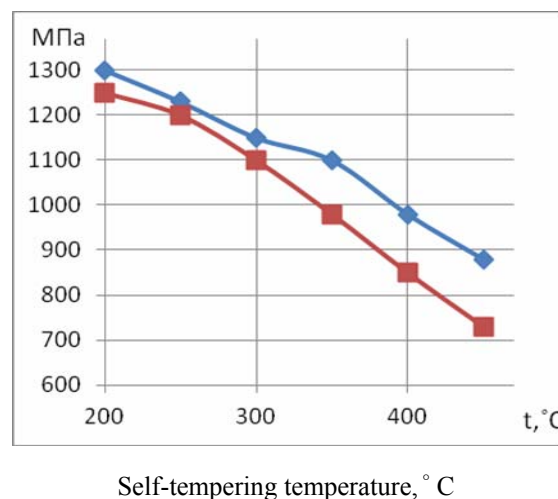


Fig. 5. Dependence of strength stress (♦) and yield limits (■) on the self-tempering temperature of carbon steel after accelerated cooling

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

At the slight increase in tempering temperature or holding time under isothermal conditions, the development of carbide phase spheroidization process has the opposite effect. During formation of the more equilibrium cementite globules their number decreases. At the same time, the transition of carbon atoms from the solid solution to the carbide particles is accompanied by a decrease of internal pressures. This is proved by the increase in reflexes contrast on microdiffraction photos [2, 9] and reduction in expansion of X-ray interferences of the ferrite (Fig. 4).

When the tempering temperature increases to 400 °C the structural studies revealed early signs of dislocations redistribution and slight decrease in their density, which is associated with this (Fig. 2). Participatory development of these processes explains the permanent effect of carbon steel softening during increase of the termination of accelerated cooling temperature for carbon steel in the range 200-450 °C (Fig. 5).

According to the obtained results the complex nature of the influence of carbon steel structural transformations, depending on the temperature range of forced cooling termination was determined. The total effect of metal softening from the reducing in degree of solid solution supersaturation by carbon atoms, reducing the dislocation density and cementite particle coalescence exceeds the strengthening effect from the presence in the structure of fine carbide particles. At low temperatures (300 °C) of cooling termination, the main source of steel strengthening are the processes solid solution supersaturation by carbon atoms. The increase in temperature of accelerated cooling termination is accompanied by the indispensable increase in self-tempering effect from the metal volumes that are buried from the surface of cooling. The level of strength properties of carbon steel is determined by the compliant influence from the development of processes of dislocations interaction with the carbon atoms at the decay of solid solution and dispersion strengthening from the formation of additional particles of cementite.

Analysis of the dependence of carbon steel strength properties (Fig. 5) showed that in the manufacturing process of all-rolled railway wheels in order to improve the spalling resistance the disk can be subjected to accelerated cooling to the temperatures 300-350 °C without significant metal embrittlement.

Originality and practical value

1. The level of strength characteristics of railway wheel carbon steel from the temperature of the forced cooling termination is defined by the influence correlation from the solid solution supersaturation and dispersion strengthening of carbide phase.

2. For the temperatures of accelerated cooling termination 200-300 °C the reduction in degree of solid solution supersaturation is the key factor in determining the strength characteristics level.

During manufacture of all-rolled railway wheel one can increase the strength limit of the metal disk by the accelerated cooling to the medium temperature range.

Conclusions

1. Under conditions of carbon steel accelerated cooling the processes of mobile dislocations blocking due to the carbon atoms release and the dispersion strengthening from the formed particles of carbide phase are the sources of strengthening.

2. At the temperatures of forced cooling termination above 300-350 °C the rate of decrease in strength properties is determined by the excess of total softening effect from the breakdown of solid solution, spheroidization aped-up and the cementite particles coalescence over the dislocation blocking by carbon atoms and dispersion strengthening.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Бабаченко, А. И. Надежность и долговечность железнодорожных колес и бандажей / А. И. Бабаченко. – Днепропетровск : ПГАСА, 2015. – 350 с.
2. Большаков, В. И. Атлас структур металлов и сплавов / В. И. Большаков, Г. Д. Сухомлин, Н. Э. Погребная. – Днепропетровск : Gaudeamus, 2001. – 113 с.
3. Вакуленко, И. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Днепропетровск : Маковецкий, 2008. – 196 с.
4. Вакуленко, Л. І. Оцінка ступеня знеміцнення при відпуску загартованої колісної сталі / Л. І. Вакуленко, Ю. Л. Наєждін // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 31. – С. 259–261.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

5. Дефекти залізничних коліс / І. О. Вакуленко, В. Г. Анофрієв, М. А. Грищенко, О. М. Перков. – Дніпропетровськ : Маковецький, 2009. – 112 с.
6. Кинетика превращения аустенита в рельсовых сталях марок М74 и 75ХГСМ при непрерывном охлаждении / В. Г. Ефременко, Ф. К. Ткаченко, С. О. Кузьмин, В. Г. Казанков // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 29. – С. 198–201.
7. Кинетика распада переохлажденного аустенита стали для железнодорожных колес при непрерывном охлаждении / А. И. Бабаченко, А. В. Кныш, А. А. Кононенко [и др.] // Стр-во, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. акад. стр-ва и архит. – Днепропетровск, 2014. – Вип. 73. – С. 65–69.
8. Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов / И. И. Новиков. – Москва : Металлургия, 1986. – 480 с.
9. Bhadeshia, H. K. D. H. Bainite in steels / H. K. D. H. Bhadeshia. – Cambridge : The University Press, 2001. – 454 p.
10. Direct Quenching Steels / R. L. Bodnar, Y. Shen, M. Lin [et al.] // Proc. Materials Solutions 97 on Accelerated Cooling, TMS-AIME. – Warrendale, Pennsylvania, USA, 1997. – P. 3–13.
11. Guinier, A. Theorie et technique de la radiocristallographie / A. Guinier. – Paris : Dunod, 1956. – 560 p.
12. Houdremont, E. Handbuch der Sonderstahlkunde / E. Houdremont. – Berlin : Springer-Verlag, 1956. – 952 p.
13. Langman, R. A. Estimation of Residual Stresses in Railway Wheels by Means of Stress Induced Magnetic Anisotropy / R. A. Langman, P. J. Mutton // NDT & E International. – 1993. – Vol. 26, № 4. – P. 195–205. doi:10.1016/0963-8695(93)90474-9.
14. Vakulenko, I. A. Influence voltage pulse electrical discharge in the water at the endurance fatigue of carbon steel / I. A. Vakulenko, A. G. Lisnyak // Mechanics, Materials Science & Engineering. – 2016. – Vol. 2. – P. 14–22.

Л. І. ВАКУЛЕНКО^{1*}, Д. М. БОЛОТОВА^{2*}, С. В. ПРОЙДАК^{3*}, М. А. ГРИЩЕНКО^{4*},
І. О. ВАКУЛЕНКО^{5*}

^{1*} Управління Придніпровської залізниці, пр. К. Маркса, 108, Дніпропетровськ, Україна, 49600, тел. + 38 (056) 793 00 59, ел. пошта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0003-2616-740X

^{2*} Дніпропетровський професійний залізничний ліцей, пров. Універсальний, 7а, Дніпропетровськ, Україна, 49056, тел. +38 (056) 376 43 83, ел. пошта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0001-6947-3963

³ Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0003-2439-3657

^{4*} Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта grischenko@live.ru, ORCID 0000-0002-0091-1387

^{5*} Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1916

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ САМОВІДПУСКА НА МІЦНІСТЬ ДИСКА ЗАЛІЗНИЧНОГО КОЛЕСА ПІСЛЯ ПРИСКОРЕНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ

Мета. Робота спрямована на визначення ресурсу підвищення міцності диску залізничного колеса.
Методика. Матеріалом для дослідження була вуглецева сталь залізничного колеса зі змістом 0,57 % С, 0,65 % Si, 0,45 % Mn, 0,0029 % S, 0,014 % P, 0,11 % Cr. Залізничне колесо піддавали нагріву до температур вище A_{C3} , витримували при цій температурі для завершення процесу гомогенізації аустеніту та прискорено охолоджували диск до визначеної температури. Температурний інтервал закінчення примусового охолодження диску колеса складав значення 200–450 °С. Структуру вивчали за методиками досліджень із вико-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ристанням електронного та світлового мікроскопів. Оцінку ступеня дефектності структури металу після прискореного охолодження здійснювали з використанням методики рентгенівського структурного аналізу. Межі міцності та плинності вуглецевої сталі визначали при розтяганні зі швидкістю деформації 10^{-3} с^{-1} . Мікротвердість структурних складових сталі оцінювали, використовуючи мікротвердомір типу ПМТ-3. **Результати.** Комплекс властивостей вуглецевої сталі залізничного колеса в залежності від температури припинення прискореного охолодження визначається співвідношенням розвитку процесів пом'якшення та зміцнення. Джерелами ефекту зміцнення є процеси блокування рухомих дислокацій за рахунок виділення на них атомів вуглецю та дисперсійного зміцнення від сформованих частинок карбідної фази. При температурах припинення примусового охолодження вуглецевої сталі вище за $300\text{--}350^\circ \text{C}$ темп зниження властивостей міцності визначається перевищенням сумарного ефекту (пом'якшення від розпаду твердого розчину, прискорення сфероїдизації та коалесценції частинок цементиту) над блокуванням дислокацій атомами вуглецю та дисперсійним зміцненням. **Наукова новина.** Авторами доведено, що рівень характеристик міцності вуглецевої сталі залізничного колеса від температури закінчення примусового охолодження визначається співвідношенням впливів від пересичення твердого розчину та дисперсійного зміцнення від карбідної фази. Для температур припинення прискореного охолодження $200\text{--}300^\circ \text{C}$ зниження ступеню пересичення твердого розчину є основним чинником, що визначає рівень характеристик міцності. **Практична значимість.** При виготовленні суцільнокатаного залізничного колеса підвищити межу міцності металу диску можна прискореним охолодженням до середнього інтервалу температур, що успішно доведено в роботі.

Ключові слова: дислокації; температура самовідпуску; прискорене охолодження; диск залізничного колеса

Л. И. ВАКУЛЕНКО^{1*}, Д. М. БОЛОТОВА^{2*}, С. В. ПРОЙДАК^{3*}, М. А. ГРИЩЕНКО^{4*},
И. О. ВАКУЛЕНКО^{5*}

^{1*} Управление Приднепровской железной дороги, пр. К. Маркса, 108, Днепропетровск, Украина, 49600, тел. +38 (056) 793 00 59, эл. почта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0003-2616-740X

^{2*} Днепропетровский профессиональный железнодорожный лицей, переул. Универсальный, 7а, Днепропетровск, Украина, 49056, тел. +38 (056) 376 43 83, эл. почта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0001-6947-3963

^{3*} Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, эл. почта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0003-2439-3657

^{4*} Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, эл. почта grischenko@live.ru, ORCID 0000-0002-0091-1387

^{5*} Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, эл. почта dnuzt_texmat@ukr.net, ORCID 0000-0002-7353-1916

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ САМООТПУСКА НА ПРОЧНОСТЬ ДИСКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА ПОСЛЕ УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Цель. Работа направлена на оценку ресурса повышения прочности диска железнодорожного колеса. **Методика.** Материалом для исследования была углеродистая сталь железнодорожного колеса с содержанием 0,57 % С, 0,65 % Si, 0,45 % Mn, 0,0029 % S, 0,014 % P, 0,11 % Cr. Железнодорожное колесо нагревали до температур выше A_{c3} , выдерживали при этой температуре для завершения процессов гомогенизации аустенита и ускоренно охлаждали диск до определенной температуры. Температурный интервал окончания принудительного охлаждения диска колеса составлял $200\text{--}450^\circ \text{C}$. Структуру изучали с использованием методик исследований под электронным и световым микроскопами. Оценку степени дефектности структуры металла после ускоренного охлаждения осуществляли с использованием методики рентгеновского

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

структурного аналізу. Межі міцності та текучості углеродистого сталі визначали при розтягненні, зі швидкістю деформації 10^{-3} с^{-1} . Мікротвердість структурних складових сталі оцінювали, використовуючи мікротвердомер типу ПМТ-3. **Результати.** Комплекс властивостей углеродистого сталі залізничного колеса залежить від температури припинення прискореного охолодження визначається співвідношенням розвитку процесів розм'якшення та зміцнення. Ефект зміцнення оснований на блокуванні рухомих дислокацій за рахунок виділення на них атомів вуглецю та дисперсійного зміцнення від сформованих частинок карбидної фази. При температурах припинення примусового охолодження углеродистого сталі вище $300\text{--}350^\circ \text{C}$ темп зниження міцнісних властивостей визначається перевищенням сумарного ефекта (розм'якшення від розпаду твердого розчину, прискорення сфероїдизації та коалесценції частинок цементиту) над блокуванням дислокацій атомами вуглецю та дисперсійним зміцненням. **Наукова новизна.** Авторами доведено, що рівень характеристик міцності углеродистого сталі залізничного колеса від температури закінчення примусового охолодження визначається співвідношенням впливу ступеня насичення твердого розчину та дисперсійним зміцненням від карбидної фази. Для температур припинення прискореного охолодження $200\text{--}300^\circ \text{C}$ зниження ступеня насичення твердого розчину є основним фактором, який визначає рівень характеристик міцності. **Практична значимість.** При виготовленні цільнокатаного залізничного колеса підвищити межу міцності металу диска можна прискореним охолодженням до середнього інтервалу температур, що успішно доведено в роботі.

Ключові слова: дислокації; температура самоохолодження; прискорене охолодження; диск залізничного колеса

REFERENCES

1. Babachenko A.I. *Nadezhnost i dolgovechnost zheleznodorozhnykh koles i bandazhey* [Reliability and durability of railway wheels]. Dnipropetrovs, GVUZ «PGASA» Publ., 2015. 350 p.
2. Bolshakov V.I., Sukhomlin G.D., Pogrebnaya N.E. *Atlas struktur metallov i spлавov* [Atlas of metal and alloy structures]. Dnipropetrovsk, Gaudeamus Publ., 2001. 113 p.
3. Vakulenko I.A., Bolshakov V.I. *Morfologiya struktury i deformatsionnoye uprochneniye stali* [Structure morphology and work-hardening of the steel]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2008. 196 p.
4. Vakulenko L.I., Nadezhdin Yu.L. Otsinka stupenia znemitsnennia pry vidpusku zahartovanoi kolisnoi stali [Evaluation of softening during tempering of the hardened wheel steel]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 31, pp. 259-261.
5. Vakulenko I.O., Anofriyev V.H., Hryshchenko M.A., Perkov O.M. *Defekty zaliznychnykh kolis* [Railway wheels defects]. Dnipropetrovs, Makovetskiy Publ., 2009. 112 p.
6. Yefremenko V.G., Tkachenko F.K., Kuzmin S.O., Kazankov V.G. Kinetika prevrashcheniya austenita v relsovykh stalyakh marok M74 i 75KhGSM pri nepreryvnom okhlazhdenii [Kinetics of austenite transformation in the rail steels M74 and 75 KhGSM during continuous cooling]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 29, pp. 198-201.
7. Babachenko A.I., Knysh A.V., Kononenko A.A. Kinetika raspada pereokhlazhdennoho austenita stali dlya zheleznodorozhnykh koles pri nepreryvnom okhlazhdenii [Decay kinetics of undercooled austenite of railway wheels steel during continuous cooling]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye* [Building, Material Science, Mechanical Engineering], 2014, issue 73, pp. 65-69.
8. Novikov I.I. *Teoriya termicheskoy obrabotki metallov* [Theory of the metals heat treatment]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1986. 480 p.
9. Bhadeshia H.K.D.H. Bainite in steels. Cambridge, The University Press Publ., 2001. 454 p.
10. Bodnar R.L., Shen Y., Lin M. Direct Quenching Steels. Proc. Materials Solutions 97 on Accelerated Cooling, TMS-AIME. Warrendale, 1997, pp. 3-13.
11. Guinier A. Theorie et technique de la radiocristallographie. Paris, Dunod Publ., 1956. 560 p.
12. Houdremont E. Handbuch der Sonderstahlkunde. Berlin, Springer-Verlag Publ., 1956. 952 p.
13. Langman R.A., Mutton P.J. Estimation of Residual Stresses in Railway Wheels by Means of Stress Induced Magnetic Anisotropy. *NDT & E International*, 1993, vol. 26, no. 4, pp. 195-205. doi: 10.1016/0963-8695(93)90474-9.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

14. Vakulenko I.A., Lisnyak A.G. Influence voltage pulse electrical discharge in the water at the endurance fatigue of carbon steel. *Mechanics, Materials Science & Engineering*, 2016, vol. 2, pp. 14-22.

Associate Prof. V. V. Tytarenko, Ph.D. (Phys&Math) (Ukraine); Associate Prof. O. O. Chaikovskyi, Ph.D. (Tech.) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: 29 Jan., 2016

Accepted: 31 March, 2016

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

УДК 624.014"401.4":620.193

А. Н. ГИБАЛЕНКО^{1*}, Т. С. ТРОФИМЧУК^{2*}

^{1*}Каф. «Строительство, техническая эксплуатация и реконструкция», ГБУЗ «Приазовский государственный технический университет», ул. Университетская, 7, Мариуполь, Украина, 87500, тел. +38 (050) 473 14 52, эл. почта alexgib@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2979-5225

^{2*}Каф. «Строительство, техническая эксплуатация и реконструкция», ГБУЗ «Приазовский государственный технический университет», ул. Университетская, 7, Мариуполь, Украина, 87500, тел. +38 (097) 716 34 33, эл. почта taras.trofimchuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-1051-4561

ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ФАКТОРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Цель. Исследования направлены на повышение качества и надежности мер первичной и вторичной защиты металлоконструкций производственных предприятий, для продления сроков эксплуатации циклически нагруженных конструкций производственного оборудования с учетом уровня коррозионной опасности. **Методика.** Предложено использование принципов процессного подхода для постановки и реализации задач управления эксплуатационным сроком службы в коррозионных средах. Принципы обеспечения надежности уровня коррозионной опасности включают обоснование последовательности этапов оценки живучести строительных металлоконструкций на основе стратегии *DMAIC* (*define, measure, analyze, improve, control*): определения, измерения, анализа, совершенствования и контроля мер первичной и вторичной защиты от коррозии. **Результаты.** Доказано, что обеспечение мер защиты от коррозии по критерию коррозионной опасности позволяет обеспечивать требования надежности строительных металлоконструкций на основе расчетных положений метода предельных состояний. А также решать задачи по управлению технологической безопасностью в течение установленного срока службы строительных объектов. **Научная новизна.** Разработанная стратегия обслуживания промышленных объектов по фактическому состоянию включает процессный подход к управлению ресурсами путем построения системы учета и функционального контроллинга, анализа рисков и регулирования технологической безопасности производственных фондов предприятий. Реализация принципов процессного подхода к управлению технологической безопасностью на объектном уровне направлена на совершенствование средств и методов противокоррозионной защиты, продление ресурса с учетом показателей живучести (ψ , η) и обоснование мер программы обеспечения надежности (ПОН). **Практическая значимость.** На основе процессного подхода к управлению качеством и надежностью, обобщений натурных и численных исследований, направленных на обоснование конструктивных решений первичной и вторичной защиты металлоконструкций при заданном уровне коррозионной опасности металлоконструкций, разработаны организационные меры ПОН. Они включают оценку интегральных характеристик конструктивной приспособленности, технологической рациональности и риск-анализ признаков коррозионной опасности объектов.

Ключевые слова: металлические конструкции; живучесть; процессный подход; обеспечение надежности; рудный перегружатель; уровень коррозионной опасности

Введение

Значительный период использования в сложных условиях функционирования циклически нагруженных металлических конструкций технологического оборудования, обеспечивающего производственный процесс предприятий горно-металлургической промышленности, требует решения задачи продления сроков эксплуатации (превышающих нормативные) с учетом уровня коррозионной опасности и обеспечения требований первичной и вторичной защиты от коррозии [3].

Оценка качества и надежности металлоконструкций и их защитных покрытий является важным аспектом продления ресурса объектов основных фондов, формирования рационального инновационного развития производства новых материалов и использования ресурсосберегающих технологий, которые обеспечивают снижение уровня коррозионной опасности и долговременную защиту от воздействия коррозионно-агрессивных сред.

Цель

Исследования направлены на обеспечение качества и надежности мер первичной и вторичной защиты металлоконструкций по признакам коррозионной опасности металлоконструкций производственных мощностей производственных предприятий.

Использование процедуры обоснования программы обеспечения надежности (ПОН) для продления ресурса конструкций зданий и сооружений включает оценку интегральных характеристик конструктивной приспособленности, технологической рациональности и риск-анализ признаков коррозионной опасности строительных объектов [10].

Реализация задач технической диагностики коррозионного разрушения (ТДКР) и обоснование расчетных ситуаций по признакам коррозионной опасности обеспечивает формирование эксплуатационных характеристик для выявления остаточного ресурса систем противокоррозионной защиты (СПКЗ) конструкций и разработку мер ПОН промышленных объектов.

Методика

Коррозионное разрушение циклически нагруженных стальных конструкций определяется внешними воздействиями режима эксплуатации и зависит в первую очередь от степени агрессивности среды [3, 5, 14].

Достаточная живучесть должна обеспечиваться по отношению к локальным разрушениям и предусмотренным нормами аварийным ситуациям (непреднамеренным воздействиям). Необходимо предусматривать меры обеспечения живучести в аварийных ситуациях, которые должны быть оговорены в проектной и эксплуатационной документации объекта. Задача обеспечения живучести по уровню коррозионной опасности состоит в определении фиктивных нагрузок, дополнительных перемещений и усилий, вызываемых этими нагрузками, для обоснования расчетных ситуаций при наличии признаков коррозионных поражений и повреждений [6, 15].

Для оценки разрушений и изменений физико-механических свойств материалов при воздействии локальных и прогрессирующих разрушений формулируется концепция конструктивной безопасности сооружений с учетом силовых и коррозионных воздействий, количественной оценки характеристики живучести [9, 11].

Разработанная программа работ по экспертному обследованию ставила целью выявление причин аварийного разрушения металлических конструкций рудно-грейферного перегружателя, обслуживающего склад сыпучих материалов аглофабрики металлургического завода (рис. 1) согласно требованиям норм, научно-методическое обоснование и разработка мер обеспечения технологической безопасности [6]. Проверочный расчет несущей способности конструкции выполнялся на основе задания критериев предельных состояний по результатам оценки фактического состояния с помощью коэффициента обратной связи режима эксплуатации конструкций (ψ) на основании зависимостей:

$$N = \Phi / (\Gamma - \psi),$$

$$\gamma_{sr} = \Gamma - \psi,$$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

где N – наибольшее расчетное усилие в конструктивном элементе, кН; Φ – предельное усилие, кН, которое может воспринять элемент с характеристикой повреждаемости Θ_f ; Γ – отношение резерва надежности; γ_{sr} – коэффициент технологической безопасности.

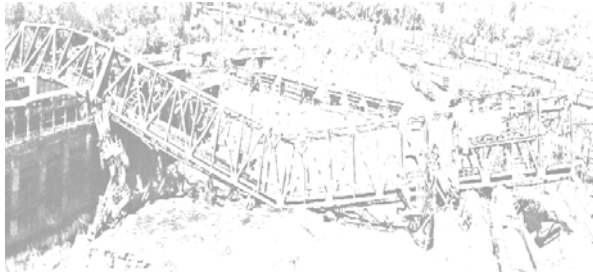


Рис. 1. Общий вид разрушения крана

Fig. 1 General view of the crane destruction

Использование коэффициента обратной связи режима эксплуатации (ψ) обеспечивает реализацию аналитического подхода к управлению технологической безопасностью, формированию программ обеспечения надежности на основе решения задач анализа возможных причин, последствий отказов (*FMEA*) и оценки критичности отказов (*FMECA*). При этом критерий технологической безопасности конструкций γ_{sr} можно рассматривать как пропускную способность регулирования ресурса (η):

$$\eta = 1/\gamma_{sr},$$

При накоплении дефектов и повреждений Θ_f коэффициент обратной связи (ψ) характеризует снижение эксплуатационных показателей стальных конструкций при установленном проектном значении отношения резерва надежности (Γ). Возмущающие воздействия негативных нагрузок и воздействий вызывают появление признаков предельных состояний конструкций. Пропускная способность регулирования ресурса характеризует допустимое изменение проектного значения отношения резерва надежности (Γ) для обеспечения работоспособного состояния за счет конструктивно-технологических ограничений и восстановления послеремонтной несущей способности.

Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния стальных конструкций для оценки показателей ресурса

(ψ , η) выполнено с использованием интегрированного расчетного комплекса «ПК ЛИРА-САПР 2013» [1].

Систематизация признаков эксплуатационного состояния конструкций выполняется с использованием классификационных признаков показателей базы данных «Ресурс» в зависимости от уровня уязвимости и угроз, категорий ответственности по технологической безопасности зданий и сооружений (табл. 1).

Таблица 1

Категории ответственности сооружений по технологической безопасности

Table 1

Structures responsibility categories by technological security

| Характеристика уровня угроз | Приемлемый (0) | Низкий (I) | Средний (II) | Значительный (III) | Высокий (IV) | Недопустимый (X) |
|---|----------------|-----------------------|--------------|--------------------|--------------|------------------|
| Сигнальный цвет опасности | Синий | Зеленый | Желтый | Оранжевый | Красный | Черный |
| Категории ответственности | R0 | R1 | R2 | R3 | R4 | RX |
| Коэффициент технологической безопасности, γ_{sr} | Более 1,2 | «1,1 5 « 1,2 | «1,1 5 | «1,05 « 1,1 | От 1 до 1,05 | Менее 1,0 |

Результаты

Результаты численных исследований состояния несущих конструкций рудного перегружателя (рис. 2) основывались на методике расчета, с учетом специфики расчета конструкций мостовых перегружателей, заключающейся в характере работы мостовых перегружателей. Для такого типа конструкций основным показателем является не грузоподъемность, а производительность, что вызывает: высокие скорости подъема груза и передвижения тележки; движением моста пользуются как установочным [2]. Расчетная схема приведена на рис. 2:

- мост с П-образным сечением в решетчатом исполнении включает две вертикальные главные фермы, в плоскости верхних поясов соединены связями вдоль всего моста;
- грузовая тележка перемещается по рельсовому пути, расположенному по ездовым балкам;
- передача нагрузки от тележки и подтележечного пути на главные фермы моста, а также для придания сечению моста жесткой неизменяемой формы выполнены поперечные рамы, имеющие форму портала и выполняющие связевые функции в поперечном направлении.

Характер соединения опор с мостом в вертикальной и в горизонтальной плоскости –

шарнирное соединение (с возможностью косо устанавливать мост).

В вертикальной плоскости одна опора присоединяется к мосту шарнирно (шарнирная опора), а другая – жестко (жесткая опора). В вертикальной плоскости шарнирная опора присоединяется к мосту. При расчете ферм узлы предполагаются шарнирными.

В качестве расчетных характеристик материалов принимались минимальные значения, принятые для соответствующего времени возведения сооружения, а также на основании изучения состояния конструкций и рекомендаций нормативной литературы.

Расчетными нагрузками конструкций мостового перегружателя являются следующие: собственный вес элементов; сила тяжести тележки и груза (включая грейфер). Нагрузки для металлических конструкций мостовых перегружателей и их комбинации приняты в соответствии с методикой [4, 8]. Усилия в элементах определялись методом пространственных конечных элементов с использованием вычислительного комплекса «ПК ЛИРА-САПР 2013» [16]. Результаты численных исследований напряженно-деформированного состояния несущих конструкций перегружателя приведены на рис. 3, 4.

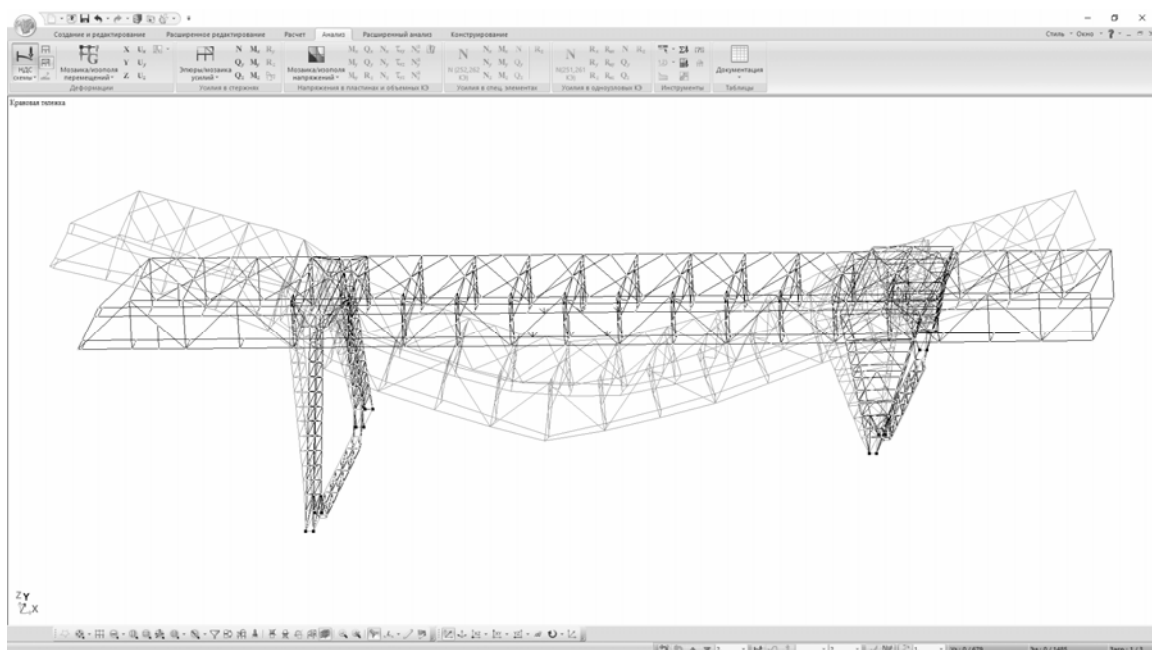


Рис. 2. Исходная и деформированная схема моста крана

Fig. 2. The initial and deformed scheme of the crane bridge

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

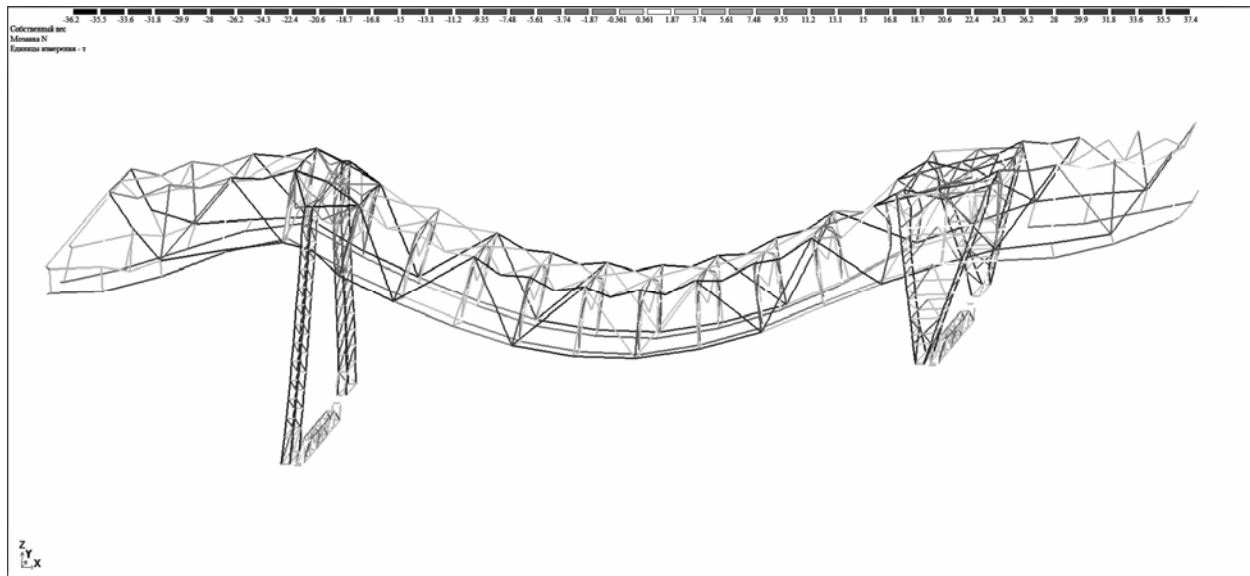


Рис. 3. Усилия N в стержнях деформированной схемы РГК

Fig. 3. Efforts of N in rod stocks of the deformed loading-crane scheme

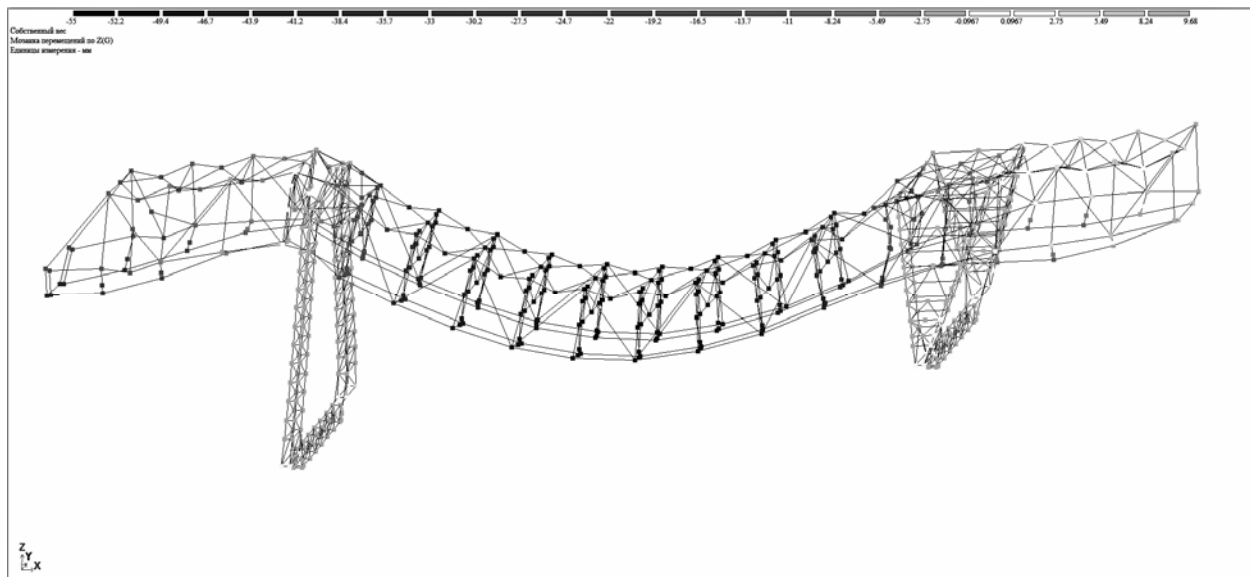


Рис. 4. Мозаика перемещений узлов конструкции по Z

Fig. 4 Movements mosaic of structural components on Z

На основании данных экспертного обследования, диагностики технического состояния после обрушения конструкции крана, изучения опыта эксплуатации и технического обслуживания [7, 9] установлено, что причинами отказа послужило:

1. Наличие усталостных явлений в материале основных несущих металлоконструкций при эксплуатации крана сверх нормативного срока

(превышающего в несколько раз) в результате воздействий динамических знакопеременных нагрузок, в период технологических операций погрузочно-разгрузочных работ складирования, перемещения и усреднения шихты, изменения геометрических характеристик элементов при коррозионных воздействиях.

2. Неработоспособное состояние элементов ограничителя перекоса крана в период прове-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

дения мероприятий по устранению перекоса моста крана и непроектное техническое решение электромеханической схемы работы ограничителей перекоса крана, отсутствие ограничителя перекоса на гибкой опоре.

3. Низкое качество технического обслуживания и контроля за содержанием и безопасной эксплуатацией.

Научная новизна и практическая значимость

Разработанная стратегия обслуживания промышленных объектов по фактическому состоянию включает процессный подход к управ-

лению ресурсами путем построения системы учета и функционального контроллинга, анализа рисков и регулирования технологической безопасности производственных фондов предприятий с учетом уровня коррозионной опасности (рис. 5). Реализация процессного подхода к управлению технологической безопасностью на объектном уровне направлена на совершенствование СПЗК, продление ресурса с учетом показателей живучести (ψ , η) и обоснование мер ПОН [11, 12].



Рис.5. Схема управления уровнем риска

Fig. 5. Management scheme of risk level

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

С учетом факторов неопределенности и риска, признаков коррозионной опасности промышленных объектов принятие решений для поддержания показателей качества и надежности производится в зависимости от уровня рисков по технологической безопасности.

Группы ремонтпригодности конструкций (табл. 2) определяют возможность и сроки восстановления технического ресурса в зависимости от режима функционирования объекта.

Таблица 2

Уровень уязвимости конструкций

Table 2

| Level of structure sensitivity | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|-----|-----|----|
| Категория дефекта или повреждения | Группа ремонтпригодности | | | |
| | I | II | III | IV |
| A | 6-8 | – | – | – |
| B | – | 3-5 | – | – |
| V | – | – | 1-2 | – |
| O (не выявлены) | – | – | – | 0 |

Категория дефекта или повреждения определяется по табл. 13 [6]. Уровень уязвимости оценивается в баллах в зависимости от категории дефекта и группы ремонтпригодности конструкций: нулевой (O) – 0 баллов; низкий (H) – от 1 до 2 баллов; средний (C) – от 3 до 5 баллов; высокий (V) – от 6 до 8 баллов.

Группа ремонтпригодности определяет вид контроля и сроки проведения работ по повышению работоспособности стальных конструкций.

Управления технологической безопасностью выполняется на основе показателя живучести (η) конструкций. Техническое обслуживание по фактическому состоянию и восстановление работоспособного состояния конструкций производится на основе расчетной оценки коэффициента обратной связи (ψ).

Выводы

Проектирование мер защиты от коррозии по критерию коррозионной опасности позволяет обеспечивать требования надежности строи-

тельных металлоконструкций на основе расчетных положений метода предельных состояний и решать задачи по управлению технологической безопасностью в течение установленного срока службы строительных объектов:

- выявлять отклонения от требований действующих нормативных документов по защите конструкций от коррозии;

- оценивать соответствие показателей качества, конструктивной приспособленности и технологической рациональности проектных решений противокоррозионной защиты заданному уровню коррозионной опасности;

- определять требования к выбору материалов и систем защитных покрытий металлоконструкций согласно классификационным признакам ДСТУ Б В.2.6-193 (приложения К, Л);

- разрабатывать предложения по использованию проектных решений противокоррозионной защиты по результатам экспертизы новых материалов и технологий по условиям оценки соответствия требованиям безопасности, надежности и эффективности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барабаш, Б. М. Компьютерные технологии проектирования металлических конструкций / Б. М. Барабаш, С. В. Козлов, Д. В. Медведенко. – Киев : НАУ, 2012. – 572 с.
2. Барбас, И. Г. Напряженно-деформационное состояние основных конструкций мостового перегружателя / И. Г. Барбас, П. П. Бойко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 33. – С. 19–22.
3. Гибаленко, А. Н. Мониторинг остаточного ресурса металлоконструкций в коррозионных средах / А. Н. Гибаленко // Зб. наук. пр. Серія: Галузеве машинобудування, буд-во / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. – Полтава, 2015. – Вип. 3 (45). – С. 110–116.
4. Городецкий, А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – Киев : Факт, 2007. – 394 с.
5. Гусев, Ю. Б. Обґрунтування параметрів високонавантажених машин на основі моделювання напружено-деформованого стану з урахуванням деградації властивостей основних елементів / Ю. Б. Гусев, А. Ю. Танченко // Вісн. НТУ «Харк. політехн. ін-т». – Харків, 2010. – № 19 : Машинознавство та САПР. – С. 62–79.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

6. ДБН 362-92. Оценка технического состояния стальных конструкций эксплуатируемых производственных сооружений. – Киев, 2014. – 199 с.
7. Исследования и практика применения магнитной структуроскопии при техническом диагностировании кранов-перегрузателей завода «Сибтяжмаш» / В. А. Гудошник, С. А. Губский, В. А. Попов, Ю. В. Чмырь // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. – 2011. – № 2. – С. 46–50.
8. Справочник по кранам : в 2 т. / М. М. Гохберг, В. И. Брауде, И. Е. Звягин [и др.] ; под общ. ред. М. М. Гохберга. – Москва : Машиностроение, 1988. – Т. 1 : Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций. – 536 с.
9. Bingen, Y. Stress, strain, and structural dynamics / Y. Bingen. – USA : Elsevier Academic Press, 2005. – 961 p.
10. Estimation of steel structure corrosion risk level / V. P. Korolov, Y. Vysotsky, O. M. Gibalenko, P. V. Korolov // Eurocorr-2010 : From the Earth's Depths to Space Heights / The European Corrosion Congress (13.09–17.09.2010). – Moscow, 2010. – 534 p.
11. Gibalenko, A. N. Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard / A. N. Gibalenko, V. Korolov, J. Filatov // Aktualnie problemy konstrukcji metalowych : Abstr. II Polish-Ukrainian International Conference APMK (27.11–28.11.2014) / University of Technology. – Gdansk, 2014. – P. 98–102.
12. Holm, A. Inelastic Behavior of Materials and Structures Under Monotonic and Cyclic Loading : Advanced Structured Materials / A. Holm, M. Brünig. – Switzerland : Springer, 2015. – 261 p. doi: 10.1007/978-3-319-14660-7.
13. Korb, L. J. Metals Handbook / L. J. Korb. – USA : ASM International, 1997. – Vol. 13. – 3455 p.
14. Nosov, V. V. Acoustic Emission Testing of the Strength of Metal Structures under Complex Loading / V. V. Nosov, A. I. Potapov // Russian J. of Nondestructive Testing. – 2015. – Vol. 51. – Iss. 1. – P. 50–58. doi: 10.1134/S1061830915010064.
15. Talbot, D. Corrosion science and technology / D. Talbot, J. Talbot. – Boca Raton : CRC Press, 2007. – 390 p.
16. Zienkiewicz, O. C. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics, Sixth Edition / O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor. – Oxford : Elsevier, 2005. – 648 p.

О. М. ГИБАЛЕНКО^{1*}, Т. С. ТРОФИМЧУК^{2*}

^{1*}Каф. «Будівництво, технічна експлуатація і реконструкція», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87500, тел. +38 (050) 473 14 52, ел. пошта alexgib@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2979-5225

^{2*}Каф. «Будівництво, технічна експлуатація і реконструкція», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87500, тел. +38 (097) 716 34 33, ел. пошта taras.trofimchuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-1051-4561

ОЦІНКА ЖИВУЧОСТІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ФАКТОРІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Мета. Дослідження спрямовані на підвищення якості і надійності заходів первинного та вторинного захисту металоконструкцій виробничих підприємств, для продовження термінів експлуатації циклічно навантажених конструкцій виробничого обладнання з урахуванням рівня корозійної небезпеки. **Методика.** Запропоновано використання принципів процесного підходу для постановки та реалізації завдань управління експлуатаційним терміном служби в корозійних середовищах. Принципи забезпечення надійності рівня корозійної небезпеки включають обґрунтування послідовності етапів оцінки живучості будівельних металоконструкцій на основі стратегії *DMAIC* (*define, measure, analyze, improve, control*): визначення, вимірювання, аналізу, вдосконалення та контролю заходів первинного та вторинного захисту від корозії. **Результати.** Доведено, що забезпечення заходів захисту від корозії за критерієм корозійної небезпеки дозволяє забезпечувати вимоги надійності будівельних металоконструкцій на основі розрахункових положень методу граничних станів. А також вирішувати завдання з управління технологічною безпекою протягом встановленого терміну служби будівельних об'єктів. **Наукова новизна.** Розроблена стратегія обслуговування промислових об'єктів по фактичному стану включає процесний підхід до управління ресурсами шляхом побудови системи обліку і функціонального контролінгу, аналізу ризиків та регулювання

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

технологічної безпеки виробничих фондів підприємств. Реалізація принципів процесного підходу до управління технологічною безпекою на об'єктному рівні спрямована на вдосконалення засобів і методів протикорозійного захисту, продовження ресурсу з урахуванням показників живучості (ψ, η) та обґрунтування заходів програми забезпечення надійності (ПЗН). **Практична значимість.** На основі процесного підходу до управління якістю та надійністю, узагальнень натурних і чисельних досліджень, спрямованих на обґрунтування конструктивних рішень первинного та вторинного захисту металоконструкцій при заданому рівні корозійної небезпеки металоконструкцій, розроблені організаційні заходи ПЗН. Вони включають оцінку інтегральних характеристик конструктивної пристосованості, технологічної раціональності та ризик-аналіз ознак корозійної небезпеки об'єктів.

Ключові слова: металеві конструкції; живучість; процесний підхід; забезпечення надійності; рудний перевантажувач; рівень корозійної небезпеки

О. М. GIBALENKO^{1*}, Т. С. TROFYMCHUK^{2*}

^{1*}Dep. «Construction, Technical Operating and Reconstruction», Pryazovskyi State Technical University, Universytetska St., 7, Mariupol, Ukraine, 87500, tel. +38 (050) 473 14 52, e-mail alexgib@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2979-5225

^{2*}Dep. «Construction, Technical Operating and Reconstruction», Pryazovskyi State Technical University, Universytetska St., 7, Mariupol, Ukraine, 87500, tel. +38 (097) 716 34 33, e-mail taras.trofimchuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-1051-4561

METAL STRUCTURES SURVIVABILITY ASSESSMENT WHEN SIMULATING SERVICE CONDITIONS

Purpose. The research is aimed at improving the quality and reliability of measures of primary and secondary protection of metal structures at manufacturing companies, to prolong the service life of cyclically loaded structures of production facilities taking into account the corrosion level of danger. **Methodology.** Authors proposed to use the principles of process approach for statement and realization of management problems of operational service life in corrosion environments. The principles of ensuring reliability on the level of corrosion danger include justification of stages sequence for survivability assessment of a structural metalwork based on the strategy of *DMAIC* (define, measure, analyze, improve, control): definitions, measurements, analysis, improvement and monitoring of measures of primary and secondary corrosion protection. **Findings.** Providing control measures from corrosion according to the criterion of corrosion danger allows providing requirements of reliability of structural metalwork based on calculated provisions of the limiting conditions method and solving the problems of management in technological safety during the expected service life of structural objects. **Originality.** The developed strategy of maintenance of the industrial facilities on an actual state includes the process approach to resource management by creation of system for the account and the functional controlling, risk analysis and regulation of technological safety in production facilities of the enterprises. Realization of the principles of process approach to management of technological safety at the object level is directed to perfecting of tools and methods of anticorrosive protection, extension of a resource taking into account indexes of survivability (ψ, η) and justification of program measures to ensure the reliability of enterprises (PER). **Practical value.** On the basis of process approach to quality and reliability management, generalizations of the natural and numerical researches directed to justification of design solutions of primary and secondary protection of a metalwork at the given level of corrosion danger of a metalwork the organizational measures of PER including assessment of integral characteristics of constructional suitability, technological rationality and risk analysis of signs corrosion danger of objects are developed.

Keywords: metal structures; survivability; process approach; ensuring reliability; ore gantry; level of corrosion danger

REFERENCES

1. Barabash B.M., Kozlov S.V., Medvedenko D.V. *Kompyuternyye tekhnologii proyektirovaniya metallicheskih konstruktsey* [Computer technologies of metal structures projecting]. Kyiv, NAU Publ., 2012. 572 p.
2. Barbas I.G., Boyko P.P. Napryazhenno – deformatsionnoye sostoyaniye osnovnykh konstruktsey mostovogo peregruzhatelya [Stress-strain state of the main structures of the bridge conveyors]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropet-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

- rovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 33, pp. 19-22.
3. Gibalenko A.N. Monitoring ostatochnogo resursa metallokonstruktsiy v korrozionnykh sredakh [Monitoring of residual life of metal structures in corrosive environment]. *Zbirnyk naukovykh prats Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu imeni Yurii Kondratiuka. Seriya: Haluzeve mashynobuduvannya, budivnistvo* [Bulletin of Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University], 2015, issue 3 (45), pp. 110-116.
 4. Gorodetskiy A.S., Yevzerov I.D. *Kompyuternyye modeli konstruktsiy* [Computer models of structures]. Kyiv, Fakt Publ., 2007. 394 p.
 5. Husiev Yu.B., Tanchenko A.Yu. Obgruntuvannya parametriv vysokonavantazhenykh mashyn na osnovi modelivuvannya napruzhenno-deformovanoho stanu z urakhuvanniam dehradatsii vlastyvostei osnovnykh elementiv [Parameters justification of heavy loaded machines based on modeling of stressed-strained state taking into account the degradation of the basic elements properties]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut». Mashynoznavstvo ta SAPR* [Bulletin of National Technical University «Kharkiv Polytechnical Institute». Machine Science and CAD], 2010, no. 19, pp. 62-79.
 6. *DBN 362-92. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya stalnykh konstruktsiy ekspluatiruyemykh proizvodstvennykh sooruzheniy* [State Building Norm 362-92. Assessment of technical state of the steel works of production facilities under operation]. Kyiv, 2014. 199 p.
 7. Gudoshnik V.A., Gubskiy S.A., Popov V.A., Chmyr Yu.V. Issledovaniya i praktika primeneniya magnitnoy strukturoskopii pri tekhnicheskoy diagnostirovani kranov-peregruzhateley zavoda «Sibtyazhmash» [Research and practice of magnetic structuroscopy with technical diagnosis of crane-loaders of «Sibtyazhmash» plant]. *Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchiy control – Technical Diagnostics and Non-destructive Testing*, 2011, no. 2, pp. 46-50.
 8. Gokhberg M.M., Braude V.I., Zvyagin I.Ye. Spravochnik po kranam v 2-kh tomakh. Kharakteristiki materialov i nagruzok. Osnovy rascheta kranov, ikh privodov i metallicheskiykh konstruktsiy. Tom 1. [Manual on cranes in 2 volumes. Characteristics of materials and loads. Bases for calculation of cranes, their drives and metal constructions. Vol. 1.]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1988. 536 p.
 9. Bingen Y. Stress, strain, and structural dynamics. USA, Elsevier Academic Press Publ., 2005. 961 p.
 10. Korolov V.P., Vysotsky Y., Gibalenko O.M., Korolov P.V. Estimation of steel structure corrosion risk level. Eurocorr-2010: From the Earth's Depths to Space Heights. The European Corrosion Congress (13.09–17.09.2010). Moscow, 2010. 534 p.
 11. Gibalenko A.N., Korolov V., Filatov J. Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard. Aktualnie problemy konstruktsii metalowych: Abstr. II Polish-Ukrainian International Conference APMK (27.11–28.11.2014). University of Technology. Gdansk, 2014, pp. 98-102.
 12. Holm A., Brünig M. Inelastic Behavior of Materials and Structures Under Monotonic and Cyclic Loading: Advanced Structured Materials. Switzerland, Springer, 2015. 261 p. doi: 10.1007/978-3-319-14660-7.
 13. Korb L.J. Metals Handbook, Ninth Edition, volume 13. Corrosion. U.S.A, ASM International Publ., 1997. 3455 p.
 14. Nosov V.V., Potapov A.I. Acoustic Emission Testing of the Strength of Metal Structures under Complex Loading. *Russian J. of Nondestructive Testing*, 2015, vol. 51, issue 1, pp. 50-58. doi: 10.1134/S1061830915010064.
 15. Talbot D., Talbot J. Corrosion science and technology. Boca Raton, CRC Press Publ., 2007. 390 p.
 16. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics, Sixth Edition. Oxford, Elsevier Publ., 2005. 648 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. П. Королёвым (Украина); д.т.н., проф. С. В. Ракиш (Украина)

Поступила в редколлегию: 12.12.2015

Принята к печати: 25.03.2016

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

UDC 004.92:621.01

L. O. NEDUZHA^{1*}, A. O. SHVETS^{2*}

^{1*}Dep. «Building Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 40910, tel. +38 (067) 810 51 65, e-mail nlorhen@i.ua, ORCID 0000-0002-7038-3006

^{2*}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

APPLICATION OF APM WINMACHINE SOFTWARE FOR DESIGN AND CALCULATIONS IN MECHANICAL ENGINEERING

Purpose. To conduct the research at all stages of design, development, operation, residual operation life determination, namely, preliminary study, action principle choice, design of draft and technical projects, their optimization, preparation of design documentation and control information for automated production, comprehensive engineering analysis, it is required to use the latest computer technologies. Their use can not only present data and information in some way, but also gives the opportunity to effectively and directly interact with the information object that is created or demonstrated. **Methodology.** To perform engineering calculations associated with the analysis of the strength of machines, mechanisms, constructions one uses both analytical and numerical methods in practice. The most common method for analysing the stress-strain state of object models, obtaining their dynamic and stability characteristics at constant and variable modes of external load is the finite element method, which is implemented in many famous and widespread software products, providing strength calculation of models of machines, mechanisms and structures. **Findings.** The use of modern software for designing machine parts and various types of their joints and for strength analysis of structures is justified. Colour charts for distribution of stresses, displacement, internal efforts, safety factor and others allow accurate and quick identification of the most dangerous places in the structure. The program also provides an opportunity to «look» inside the elements and see the resulting distribution of internal force factors. **Originality.** The paper considered the aspects, which are unexplored at present, associated with the current state and prospects of development of industrial production, the use of software package for design and calculations in the mechanical industry. The result of the work is the justification of software application for solving problems that are aimed at using research findings for various practical tasks in specific fields of mechanical engineering. **Practical value.** Compared with other software systems, popularity of the considered one is explained by easy mastering of the system, quick implementation both in training and in production process. The organizational structure, «friendly» graphical interface and accessible language make learning and use of the program very convenient. These and other factors actually reduce the time for project implementation, emphasize the relevance and the practical importance of the software system, which is appreciated by its users.

Keywords: modern software package; mechanical engineering; machine; mechanism; structure; engineering calculation; strength

Introduction

Industrial production is one of the main parts of the national economy of any country that provides vital interests, economic security, social and cultural level of the population, determines the technical and economic potential [15, 18].

One of the most complicated and most critical industries is machine building. Its share in total industrial production and the size of export of engineering products are the indicators that most accurately determine the general level of economic development. In the modern context mechanical engineering plays

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

an important role in accelerating scientific and technological progress because it largely determines its general directions and is the foundation of the economy, plays a crucial role in creating and updating its material and technical base.

Mechanical engineering is the leading sector, whose share by value is about 1/3 of the world industrial production (Fig. 1, *a*) [15].

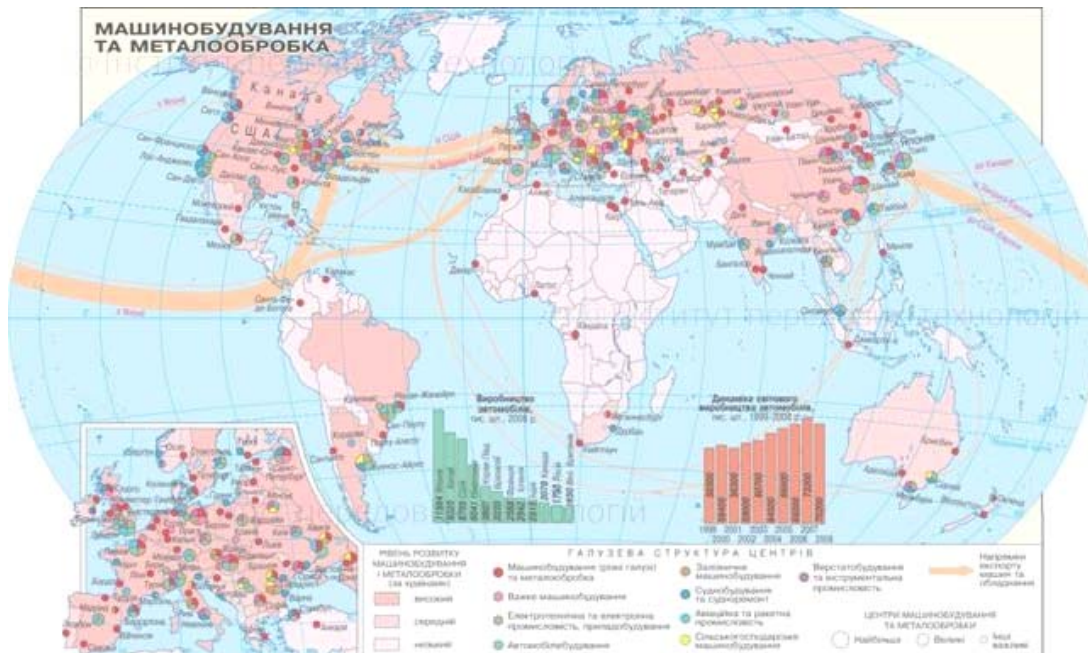
a*b*

Fig. 1. State of development geography of:
a – mechanical engineering and metalworking of the world; *b* – engineering industries of Ukraine

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Inter-branch economic complex of Ukraine integrates the system of research, design and technological organizations, enterprises, whose products have common economic purpose, production and operational similarity. Location of enterprises of various engineering branches depends on such factors as the level of science; availability of appropriate human resources, raw materials, consumer (Fig. 1b). [18].

Purpose

Nowadays, on the days of rapid development of computer information technology, no sector of the national economy can do without modern software systems to perform complex engineering calculations and to make the right decisions. To conduct the research at all stages of design, development, operation, residual operation life determination, namely, preliminary study, action principle choice, design of draft and technical projects, their optimization, preparation of design documentation and control information for automated production, comprehensive engineering analysis, it is required to use the latest computer technologies. Their use can not only present data and information in some way, but also gives the opportunity to effectively and directly interact with the information object that is created or demonstrated. These and many other problems are solved with the help of modern information technologies that confirms the relevance of their application.

Topicality. In today's world the computer information technology is rapidly penetrating into all spheres of activity – today the successful are only those sectors of the national economy, only those educational institutions or commercial companies that own the latest computer technologies. Over the past decade they have undergone such a global expansion, that it is hard to imagine human life and production activities without them.

At this stage you can easily give examples of the use of information technologies in all areas: from education to management. Significant progress is achieved in the field of education due to introduction of appropriate computer technology that can make the knowledge-gathering process available, remote, flexible, individual [13]. That is also true of mechanical engineering, including the transport one (Fig. 2), as the complexity of the engineering calculations and making the right decisions requires increasing use of advanced computer systems and technologies [1, 7]. Their use can not only present data and information in some way, but also gives the opportunity to effectively and directly interact with the information object that is created or demonstrated. These and many other problems are solved with the help of modern information technologies that confirms the relevance of their application.

a



РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

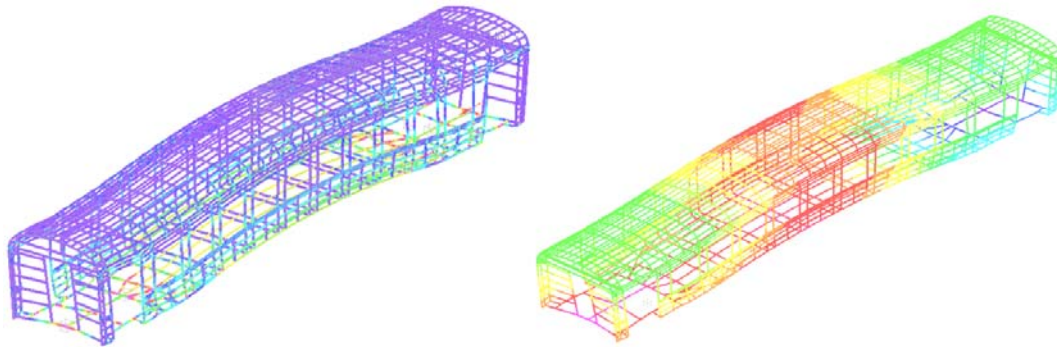
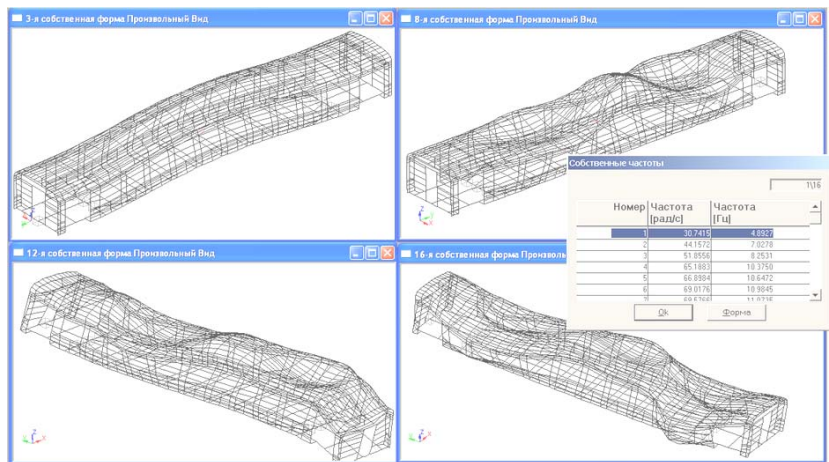
b, c*d*

Fig. 2. Multiple-unit car body:

a – calculation model; *b* – chart of the stress-strain state;*c* – chart of the total linear displacement distribution; *d* – chart of the frequency of free oscillations

Software packages for various purposes skillfully use modern computer technology (mathematical modelling, knowledge and data bases, computer networks, expert systems and decision-making systems, multimedia information technology, information resources of the Internet) at all stages of design, development, exploitation to determine the residual operation life, namely: preliminary study, action principle choice, design of draft and technical projects, their optimization, preparation of design documentation and control information for automated production, comprehensive engineering analysis, etc. [14, 23 – 25].

Methodology

To perform engineering calculations associated with the analysis of the strength of machines, mechanisms, constructions one uses both analytical and numerical methods in practice [4, 6, 19, 22].

The most commonly used method for analysis of stresses and deformations is Finite Element

Method (FEM) [2, 11, 17, 21]. It was first elaborated in the 50 years of the twentieth century to solve the problems of strength of materials. It is known that the strength of materials is the science of engineering calculation methods of machine elements, mechanisms and structures for strength, rigidity, stability and belongs to fundamental disciplines of general engineering training of specialists with higher technical education. This is the first discipline that establishes a link between fundamental scientific disciplines (physics, mathematics, theoretical mechanics) and applied problems and methods for their solution, resulting in the design of machines, building structures [8].

During the operation of machines and structures their elements are exposed to different forces – loads. To ensure the normal operation the structure must meet the required conditions of strength, rigidity and stability:

Strength is the ability of structure elements to withstand some load without destruction;

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Rigidity is the ability of structure elements to resist to deformation caused by external load; herewith the deformation should not exceed the permissible ones;

Stability is the ability of structure elements to maintain a certain original shape of the elastic equilibrium.

The main purpose of strength of materials is to provide structural strength. It occurs in the form of direct and inverse problem: the direct problem (projecting calculation) is to find reliable (in terms of strength) dimensions of the machine or structure elements, so that they could withstand a set load over the required period of time at the lowest cost; the inverse problem (checking calculation) is to check whether the element of already existing mechanism or structure meets the strength requirements in case of change of a set load, or it needs replacing or strengthening [8].

Thanks to scientists, since 1970, FEM has become increasingly popular among engineers of all specialties; at that time the first software FEM systems were developed. Now it is the main method of computational mechanics, which forms the basis of most modern software systems designed to perform engineering tasks in various fields [2, 11, 17, 21].

Thus, quality improvement of the mechanical equipment and structures must be connected primarily to reduction of their weight and cost, increased reliability and improvement of a number of other characteristics. Currently, the topical problem is combination of two mutually exclusive tendencies in the design: material savings on the one hand, and providing the necessary strength characteristics of structures on the other hand.

This can be achieved through the use of computer technology. Today it is impossible to create high-quality, reliable and competitive equipment without thorough engineering analysis of projected objects using modern software and making appropriate design decisions based on it. The engineering analysis means primarily the designer's study of stress-strain state (SSS) of designed object models, obtaining their dynamic and stability characteristics at constant and variable modes of external load. Assessment of SSS requires the knowledge about distribution of stresses in the elements of designed machines and structures, values of individual point displacement both due to static nature

of the external load, and in terms of the loads that vary over time.

Currently, due to the active implementation in engineering practice of computer technology, the most efficient approximate method for solving this class of applied problems in mechanics is the finite element method (FEM) [5, 10, 20].

FEM key idea is as follows: the solid medium (design model) is replaced with the discrete one by splitting it into finite elements (FE). The behaviour of each medium is described by a separate set of functions that represent the stress and displacement. Finite elements are connected with nodes; FE interaction is realised only through nodes. Located in a certain way, depending on object design, and secured in accordance with the boundary conditions, finite elements can adequately describe the diversity of models of parts and structures [9].

The end element can be imposed with external loads (concentrated and distributed forces and moments), which are applied to the element nodes and are called nodal loads.

When calculating using FEM first the displacements of model nodes are determined. The values of element internal forces are proportional to displacements of the element nodes. Proportionality factor is square matrix of element rigidity, whose number of lines equals to the number of degrees of element freedom (in general, this is the product of the number of degrees of node freedom by the number of element nodes). All other parameters of the final element, such as internal force, stress, displacement field, etc. are calculated on the basis of its nodal displacements.

Finite element method allows almost full automation of calculation of mechanical systems, but usually requires much more computing operations compared with the classical methods of mechanics. The current level of computing development opens up opportunities for the introduction of FEM in engineering practice [9].

FEM is implemented in many famous and widespread software products, providing strength calculation of models of machines, mechanisms and structures.

The complete finite-element analysis requires:

- Choosing the type of finite element (for the entire model or its individual parts), that will help adequately model the real structure;
- Building the model of a designed object in three dimensions;

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- Splitting the model into finite elements;
- Performing the full range of necessary calculations;
- Visualizing the results and interpreting them correctly to take the right design decisions.

Findings

In modern conditions to improve efficiency, achieve the highest quality and feasibility of results, among many of today's software packages, APM WinMachine came into widespread use. This is knowledge-intensive software, created on the basis of modern engineering methods of design, numerical methods of mechanics, mathematics and

modelling, which combines the experience of previous generations of designers, mechanical engineers and other professionals with the capabilities of computer technology, to the utmost adjusted for work on design and construction of facilities of engineering and construction industries [1, 9].

APM WinMachine software package allows the user to create three-dimensional models of random machines, mechanisms and structures (Fig. 3). Models consist of a rod, shell and solid elements; constructive models of shell and solid types can be imported from any third-party dimensional image editors, using a standard interchange format.

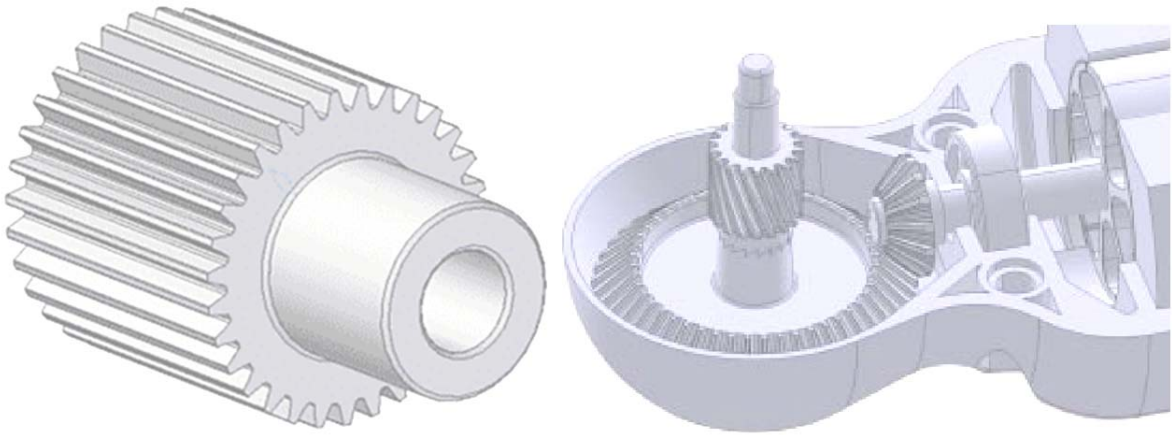
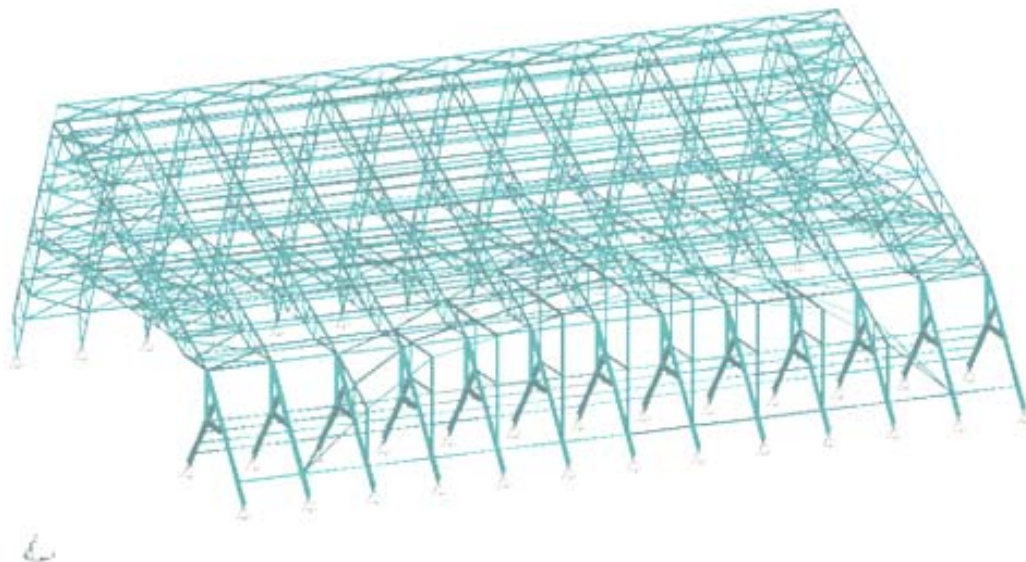
a*b*

Fig. 3. Examples of creation of:
a – solid models; *b* – model of sports complex bearing structure

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ARM WinMachine system consists of the following set of modules [1, 9]:

– APM Graph – flat drawing and graphics editor for execution of design documentation, which has convenient features of parametric geometry task (Fig. 4) [12, 16];

– APM Studio – module for creating three-dimensional surface and solid models with built-in generator for splitting into finite elements (Fig. 5 *a, b*) [1, 9];

– APM Mechanical Data – database of standard parts and components, reference data for general engineering (Fig. 5);

– APM Material Data – module for storage and edit of material parameters;

– APM Construction Data – database of graphics on standard parts and elements of building structures (Fig. 5, *g*);

– APM Technology Data – database of standard information data for process design;

– APM Base – module for creating and editing databases;

– APM Book – electronic textbook «Fundamentals of Machine Design», which sets out the basic calculation methods implemented in ARM WinMachine System;

– APM Beam – module for calculation and design of beam construction elements;

– APM Structure3D – module for calculation and design of random structures, consisting of plate (Fig. 6), rod (Fig. 6 *B*), volume (Fig. 6) elements and their random combinations due to finite element method [1, 9].

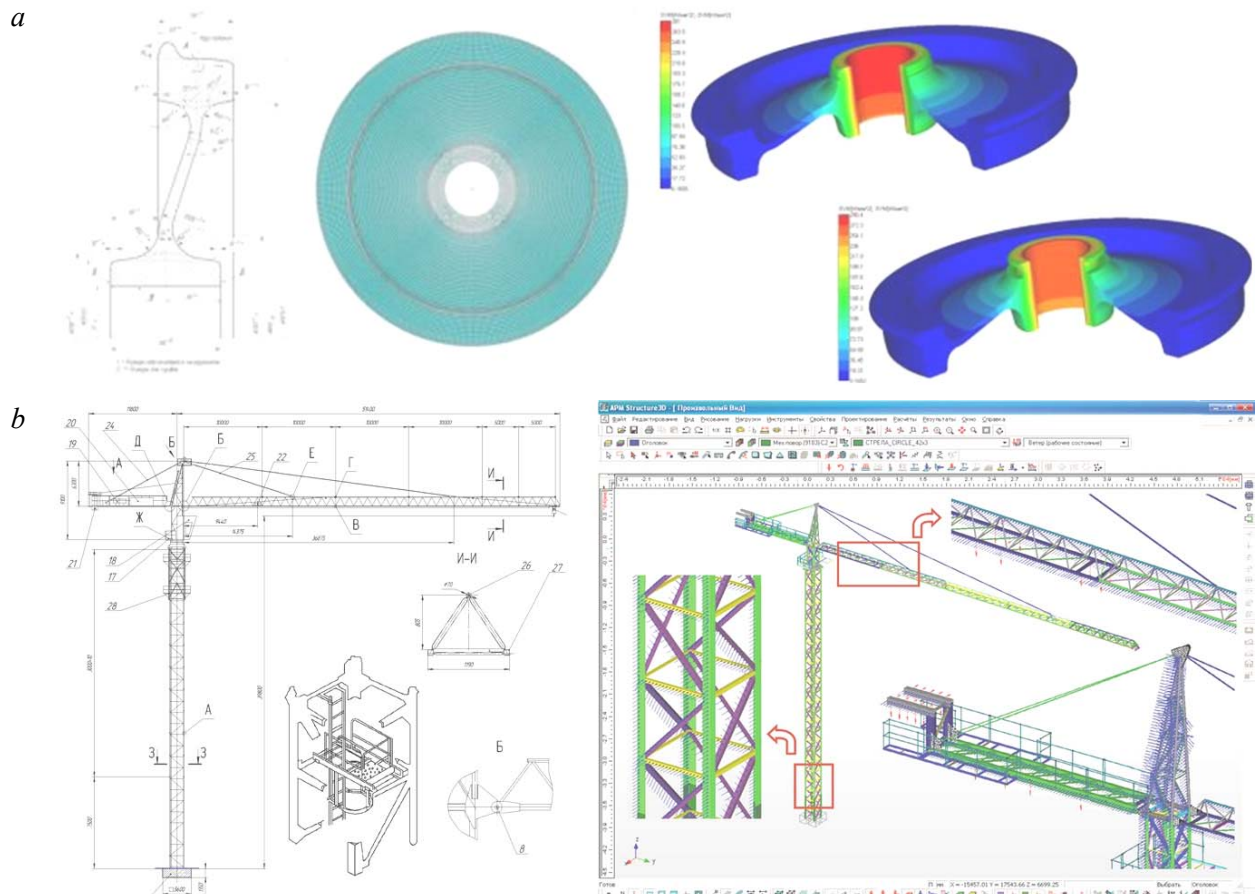
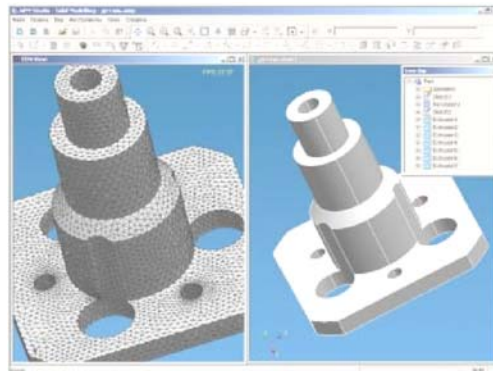


Fig. 4. Drawings and finite element model of:
a – railway wheel; *b* – tower crane

$$a$$


APM Structure3D - Untitled1

Файл Редактирование Вид Рисование Настройка Инструменты Свойства Расчет Результаты

Библиотека: Двутавры нормальные (5) по ГОСТ 26020-83.1б

Имя профиля

Двутавр 106.5 ГОСТ 26020-83
Двутавр 106.5 ГОСТ 26020-83
Двутавр 106.5 ГОСТ 26020-83
Двутавр 106.8 ГОСТ 26020-83
Двутавр 118.1 ГОСТ 26020-83
Двутавр 126.1 ГОСТ 26020-83
Двутавр 15.2 ГОСТ 26020-83
Двутавр 146.2 ГОСТ 26020-83
Двутавр 146.2 ГОСТ 26020-83
Двутавр 168.1 ГОСТ 26020-83
Двутавр 168.1 ГОСТ 26020-83
Двутавр 186.1 ГОСТ 26020-83
Двутавр 186.1 ГОСТ 26020-83

Параметры сечения

| | |
|--------------------------------------|------------|
| Jx, [см ⁴] | 436274.34 |
| Jy, [см ⁴] | 361302.46 |
| W _{xx} , [см ³] | 0.00 |
| J _{xy} , [см ⁴] | 436274.34 |
| J _{yy} , [см ⁴] | 361302.46 |
| J _{xy} , [см ⁴] | 4719596.90 |
| J _{xy} , [см ⁴] | 12964.96 |
| F, [кв. см] | 1343.50 |

Проектор

Изменить

Информация

Объем

OK Отмена Массив сечения

Загрузить Новая Опора

[illegible]

a – result of automatic work of FE-mesh generator in adaptive splitting mode; *b* – image transmission using the STEP format of three-dimensional model AdemCAD in dimensional projection module APM Studio; *c* – database and example of an anchor point of rolled section; *d* – example of inserting a section parametric model from the database

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

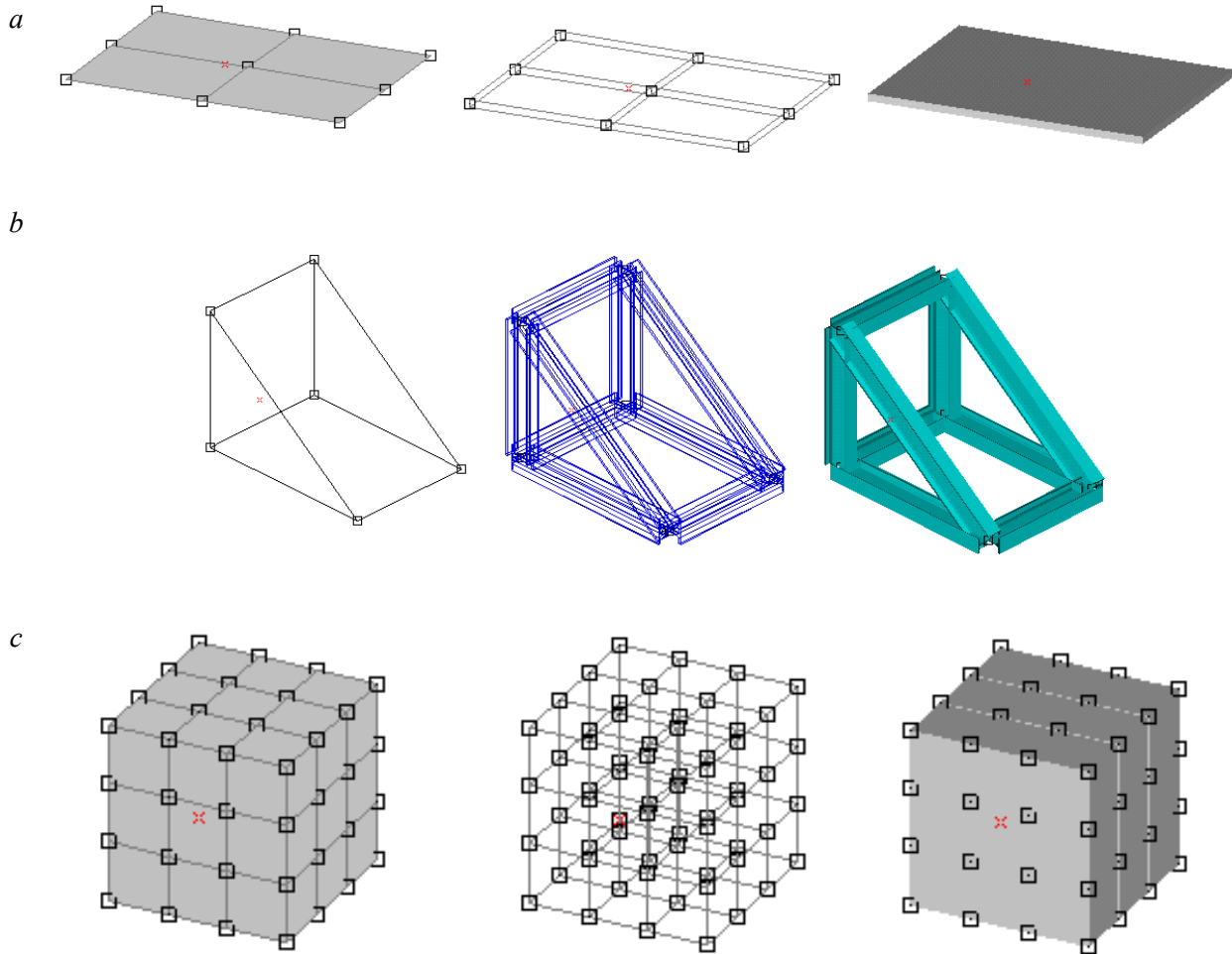


Fig. 6. Various types of element visualization:
a – flat, frame, 3-D models of plates; *b* – wire, frame, 3-D models of rod;
c – plate, frame, 3-D lighted models of volume element

ARM Structure3D module allows calculating the stress-strain state of structures in static mode, performing calculations for resistance and determination of natural frequencies [1, 9], analysing the behaviour of structures at random dynamic loads (Fig. 2, 7) [12];

– APM Joint – module for calculation and design of joints of machine parts and structural elements, which allows complex calculations of all types of threaded, welded, riveted joints and connections of rotation details;

– APM Trans – module for design of transmitting rotation intended to calculate all kinds of gears, as well as worm, belt and chain gear drives, to generate drawings of the gear elements in automatic mode;

– APM Shaft – module for calculation, analysis and design of shafts and axles;

– APM Bear – module for calculation of imperfect rolling bearings, allowing a comprehensive analysis of rolling-contact bearings of all known types;

– APM Plain – module for calculation and analysis of radial and thrust bearings operating under conditions of fluid and semi-fluid friction;

– APM Drive – module for calculation and design of random structure drive, planetary and wave gears. It allows complex calculation of kinematic characteristics and design of drive as a whole and its individual elements with automatic generation of drawings of parts and assemblies including the body;

– APM Spring – module for calculation and design of springs and other spring-elastic elements of machines (Fig. 8).

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

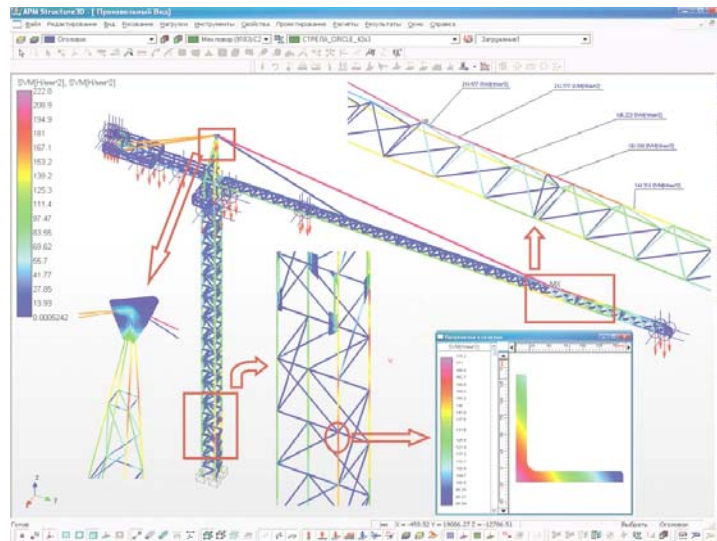
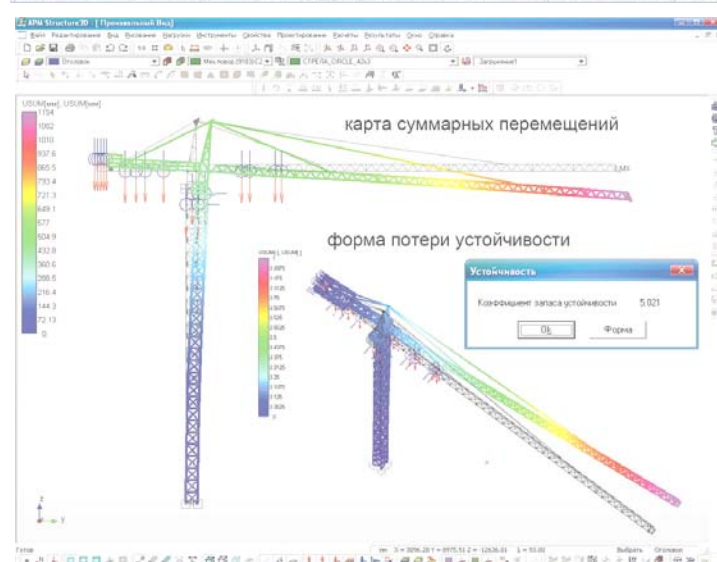
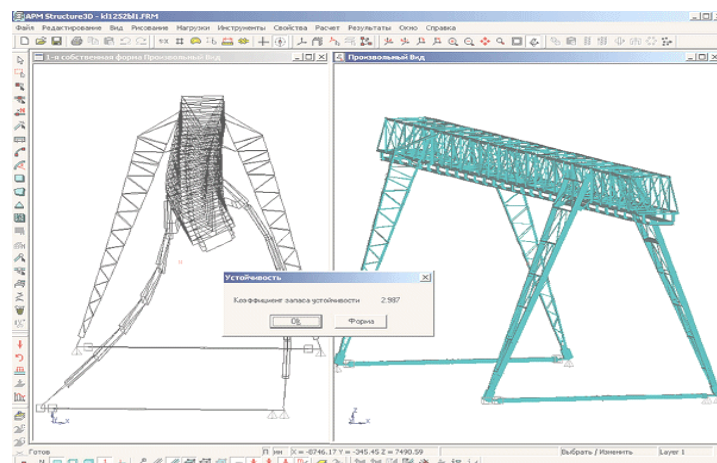
a*b**c*

Fig. 7. Charts of metal structure calculation results:
a – distribution of equivalent stresses of tower crane; *b* – distribution of tower crane displacements;
c – buckling mode and chart of frequencies of container gantry crane free oscillation

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

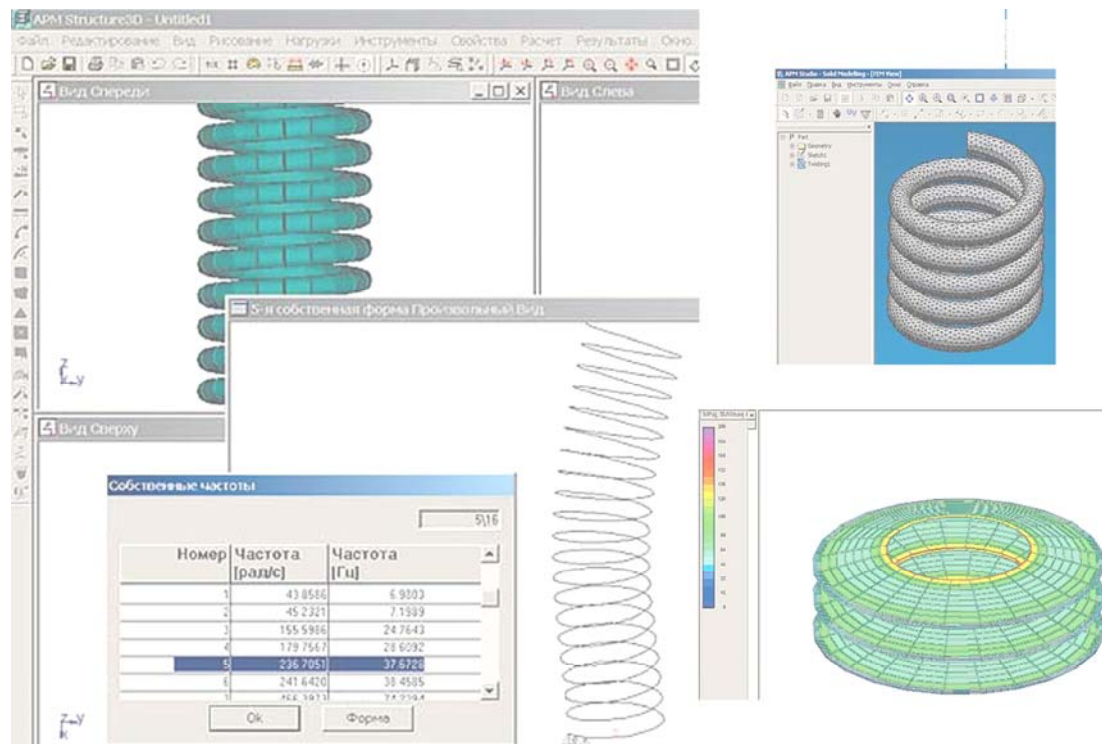


Fig. 8. Models of spring-elastic elements

– APM Car, APM Slider – modules for calculation and design of camshaft mechanisms with automatic generation of drawings and linkage mechanisms of random structure;

– APM Screw – module for calculating imperfect forward motion gears; able to calculate the screw shift gear, ball-screw and screw planetary gears;

– APM Technology – module for process design.

APM WinMachine software is flexible, reliable means of design and analysis; runs on most popular operating systems of computers – from PC to workstations and supercomputers. Despite the fact that APM WinMachine program has a variety of sophisticated options, its organizational structure and user «friendly» graphical interface makes learning and application of the program very convenient. At the same time the program is completed with documentation that enables to deal with the order of implementation of complex works online. The system «menu» includes «intuitive» features, helping the user to control the program effectually. Output data can be entered using the manipulator «mouse», keyboard or by combin-

ing these two options [1, 9].

The easiest communication way with APM WinMachine package is the use of menu system, called the user graphical interface (Fig. 9 a).

In all versions of APM WinMachine software package the on-screen menu (Fig. 9, a) includes windows, among which the key ones are as follows [1, 9]:

1. Utility Menu – contains service functions used during the entire session on APM WinMachine software, such as file and image management and settings; this «menu» also provides the program exit.

2. Input Window – allows direct entry of embedded commands.

3. Standard Toolbar – contains buttons for frequently used software commands.

4. Additional Toolbar – contains commands and functions of APM WinMachine (Fig. 9, b).

5. Graphic Output Window – display of the main relevant information on current work (Fig. 9, c).

6. Quick Access Toolbar – located below the graphic output window, helps perform online operations.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

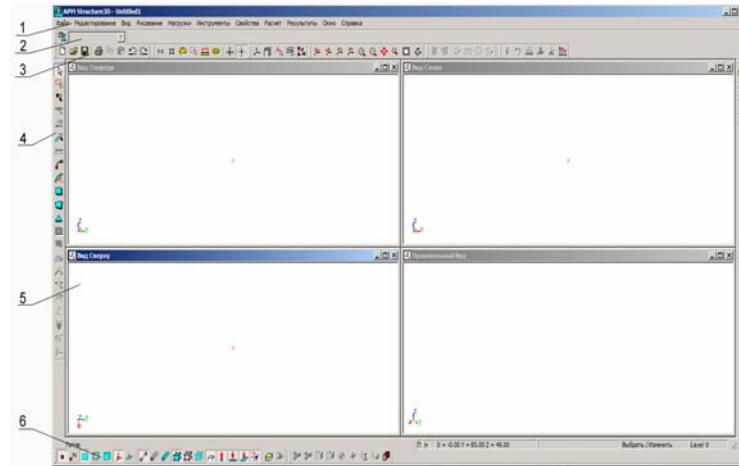
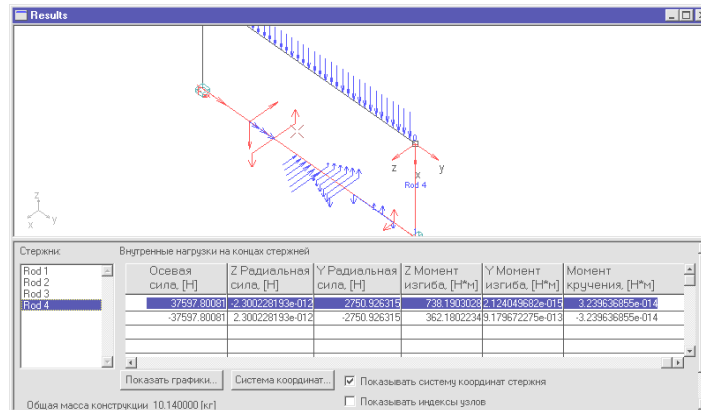
a*b**c*

Fig. 9. General view of:

a – menu system; *b* – toolbar «View filters»;
c – dialog window showing displacement and load in nodes

Thus, APM WinMachine software package helps get the results (Fig. 10, 11), the main of which are as follows [3]:

- The static calculation results: structure node displacements (linear and angular); load at the ends of rods, at the nodes of plates and volume elements; epures of force factors for the whole structure; tensions existing in rods, plates and volume elements; stress distribution in random section of the rod; design parameters specific to a single beam, such as bending moments, torsion, lateral and axial force, angles of bending, twisting, deformation and strain along the beam length. All these options are in the form of graphs displayed in the coordinate system of the rod; reactions (forces and moments) acting in bearing supports; structure weight.

- Nodal displacement and load at the ends of rods, at the nodes of plates and volume elements are displayed in the form of table.

- The results of nonlinear calculation are the same parameters as for linear static calculation.

- The result of the strain calculation are the same options as for the static calculation, plus the critical buckling load parameter of the 2nd kind and the buckling mode.

- The result of calculation of the natural frequencies include: a few first frequencies of the structure free oscillations; corresponding forms of free oscillations.

- Calculation results for structure forced oscillations are as follows: structure node displacements; stresses existing in rods, plates and volume elements; reaction in the bearing supports; free frequencies and free forms of oscillations.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

– Calculation of load capacity of metal structure rod elements is performed for structural elements and in this version of APM Structure3D is implemented in accordance with the requirements of SNIP «Steel structures». Rod element strength/resistance can also be tested by classical methods of strength of materials.

– The result of the contact interaction calculation is the stress-strain state of structural model and the distribution chart of normal and tangential forces, mutual penetration and state of contact elements in the contact area.

– The result of the stability calculation is the structure stability factor and the buckling mode.

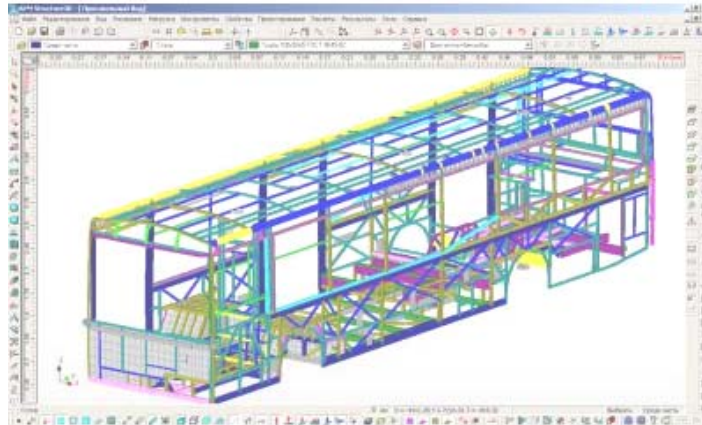
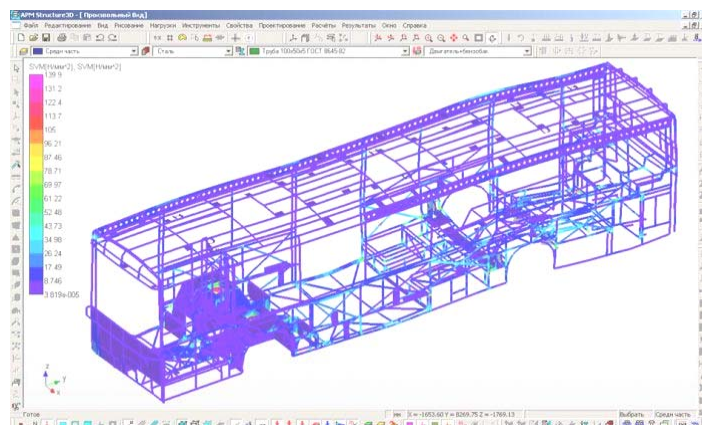
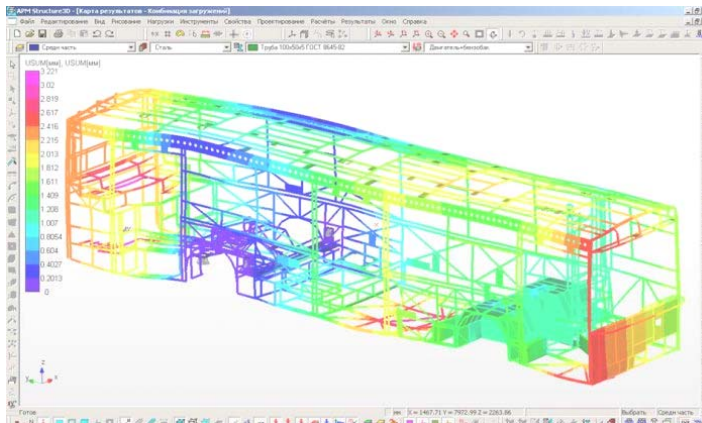
a*b**c*

Fig. 10. Example of bus carcass calculation:
a – general view of calculation model, *b* – chart of equivalent stress distribution;
c – chart of displacement distribution

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

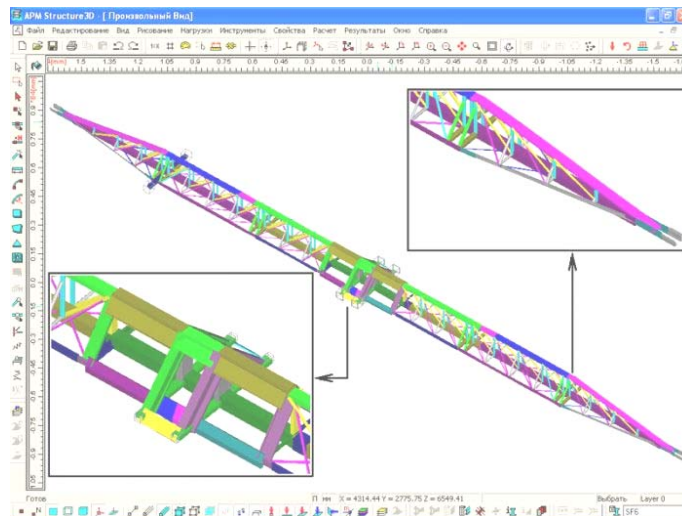
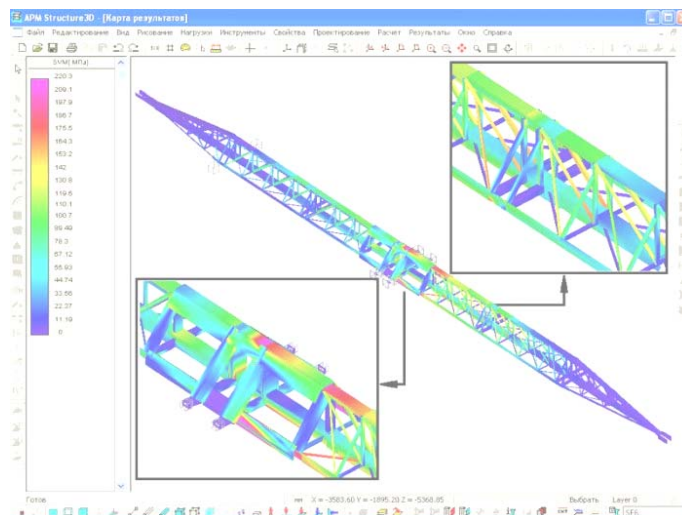
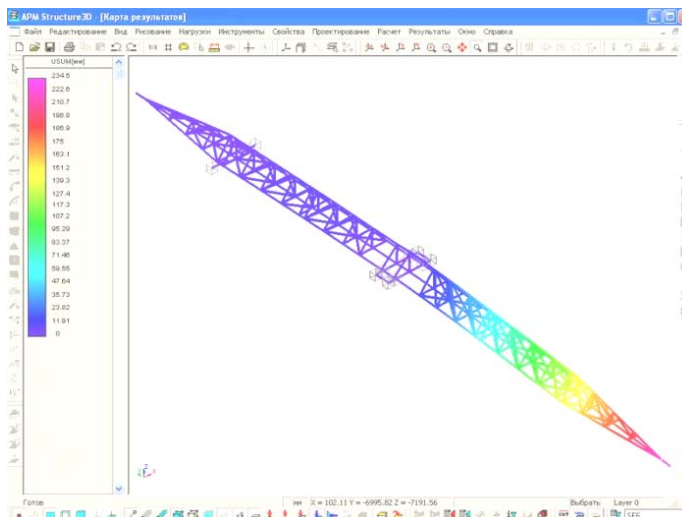
a*b**c*

Fig. 11. Mobile track crane boom:
a – calculation model; *b* – chart of equivalent stress distribution;
c – chart of the total linear displacement distribution

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Analysis of results. APM WinMachine system has a wide range of options for displaying the results. Such calculation results as stress, displacement, force, safety factor, etc. in rods, plates and volume elements can be displayed as a chart of results [1, 3, 7, 12, 16]. Chart of results is a three-dimensional structure, painted in colours in accordance with the values of the selected component of the results on the surface. Colour charts for distribution of equivalent stresses (Fig. 2 b, 4 a, 7 a, 10 b, 11 b) and displacement (Fig. 2 c, 7 b, 10 c, 11 c) internal efforts, safety factor and others allow accurate and quick identification of the most dangerous places in the structure. The program also provides an opportunity to «look» inside the elements and see the resulting distribution of internal force factors. For more complete presentation of results the user has an opportunity to build epures of various force factors on the structure 3D-model, to display reactions in support points, to evaluate the general parameters such as weight, maximum stress, displacement, to produce a summary table of output by metal structure elements.

Originality and practical value

Compared with other software systems, APM WinMachine popularity is explained by easy mastering of the system, quick implementation both in training and in production process [1, 3, 7, 12, 16], due to the fact that there is:

- the largest number of nodes;
- user-friendly interface of all system modules;
- wider range of operations within both each module and the entire software system as a whole;
- system building based on existing national standards, regulations and principles of design;
- possibility of calculations simultaneously in several modules, which speeds up the work process, reduces the risk of erroneous data entry.

In addition, organizational structure, «friendly» graphical interface and accessible language make learning and use of the program very convenient. These and other factors actually reduce the time for project implementation, emphasize the relevance and the practical importance of WinMachine software system, which is appreciated by its users.

The paper considered the aspects, which are unexplored at present, associated with the current state and prospects of development of industrial production, the use of software package for design

and calculations in the mechanical industry. The result of the work is the justification of software application for solving problems that are aimed at using research findings for various practical tasks leading to development of new equipment, machinery, mechanisms, etc. to obtain a direct economic benefit in specific fields of mechanical engineering.

Conclusions

The end product of mechanical engineering is machinery, equipment, appliances, instruments and services for all industries without exception. To conduct the whole complex of calculations both for separate kit parts, assemblies, mechanisms and for finished products of kit parts, among many of today's software packages, APM WinMachine came into widespread use. Its use for performance and design of machine parts and various types of their joints and for strength analysis of structures is justified; it actually reduces the problem solution time.

This will allow producing the equipment up to the best analogues, optimal in price, power consumption, etc., and as a result, competitive at the world market.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. APM Structure3D. Система расчёта и проектирования деталей и конструкций методом конечных элементов. Версия 9.2: рук-во пользователя [Electronic resource] – Available at: <http://www.apm.ru>. – Title from the screen. – Accessed : 10.02.2016.
2. Агапов, В. П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости пространственных тонкостенных подкрепленных конструкций / В. П. Агапов. – Москва : АСВ, 2000. – 152 с.
3. АО «Калугапутьмаш» [Electronic resource]. – Available at: <http://www.kalugaputemash.ru>. – Title from the screen. – Accessed : 10.02.2016.
4. Бате, К. Численные методы анализа и метод конечных элементов / К. Бате, Е. Вильсон. – Москва : Стройиздат, 1982. – 448 с.
5. Галлагер, Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер ; [пер. с англ. В. М. Картвелишвили]. – Москва : Мир, 1984. – 428 с.
6. Дарков, А. В. Строительная механика / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. – Москва : Высш. шк., 1986. – 462 с.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

7. Демиковский машиностроительный завод [Electronic resource]. – Available at: <http://www.dmzavod.ru>. – Title from the screen. – Accessed : 10.02.2016.
8. Дистанційне навчання. Опір матеріалів [Electronic resource] / каф. «Будівельна механіка». – Available at: <http://www.moodle.diit.edu.ua>. – Title from the screen. – Accessed : 10.02.2016.
9. Замрий, А. А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде APM Structure3D / А. А. Замрий. – Москва : АПМ, 2006. – 288 с.
10. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич ; [пер. с англ. А. В. Васильева, В. М. Курочкина] ; под ред. Б. Е. Победри. – Москва : Мир, 1975. – 544 с.
11. Иванов, Б. Э. Решение задач динамики и устойчивости строительных конструкций методом конечных элементов / Б. Э. Иванов. – Москва : МИСИ, 1990. – 288 с.
12. Коновалов, Д. Использование программного комплекса APM WinMachine для исследования остаточного ресурса порталных кранов / Д. Коновалов, А. Дарюхин // САПР и графика. – 2008. – № 3. – С. 84–87.
13. Крилов, І. В. Інформаційні технології: теорія і практика / І. В. Крилов. – Київ : Центр, 2006. – 128 с.
14. Мямлін, С. В. Визначення впливу показників тертя в системі «кузов-візок» на динаміку вантажного вагона / С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець // Наука та прогрес транспорту. – № 2 (50). – 2014. – С. 152–163. doi: 10.15802/stp2014/23792.
15. Промисловість. Географія основних галузей промисловості світу (енергетика, металургія, машинобудування, хімічна промисловість, лісова та деревообробна промисловість, легка промисловість) [Electronic resource] / підр. – Available at: <http://ukrmap.su/uk-gl11-1345.html>. – Title from the screen. – Accessed : 10.02.2016.
16. Прочностной расчет железнодорожного колеса с кольцевой канавкой на боковой поверхности ступицы. АПМ: Расчеты механики и прочност
- сти конструкций. [Electronic resource] – Available at: http://cae.apm.ru/galereya_vipo-lnennih-proektov/mashinostroenie/avto_i_geleznodorogniy_transport/geleznodorognoe_koleso. – Title from the screen. – Accessed : 10.02.2016.
17. Синицин, А. П. Метод конечных элементов в динамике сооружений / А. П. Синицин. – Москва : Стройиздат, 1978. – 232 с.
18. Склад і структура промислового виробництва та актуальні проблеми його розвитку [Electronic resource]. – Available at: <http://w-ww.info-library.com.ua/books-text-6010.html>. – Title from the screen. – Accessed : 10.02.2016.
19. Смирнов, А. Ф. Методы расчета стержневых систем, пластин и оболочек с использованием ЭВМ / А. Ф. Смирнов. – Москва : Стройиздат, 1976. – 248 с.
20. Тимошенко, С. П. Механика материалов / С. П. Тимошенко, Дж. Гере ; [пер. с англ. Л. Г. Корнейчук] ; под ред. Э. И. Григолюка. – Москва : Мир, 1976. – 670 с.
21. Хечумов, Р. А. Применение метода конечных элементов к расчету конструкций / Р. А. Хечумов. – Москва : АСВ, 1994. – 354 с.
22. Clough, R. Dynamics of Structure / R. Clough, J. Penzien. – New-York : McGraw-Hill Book Co., 1975. – 634 с.
23. Determination of Dynamic Performance of Freight Cars Taking Into Account Technical Condition of Side Bearers / S. Myamlin, L. Neduzha, O. Ten, A. Shvets // Наука та прогрес транспорту. – № 1 (43). – 2013. – С. 162–169. doi: 10.15802/stp2013/9589.
24. Myamlin, S. V. Experimental Research of dynamic qualities of freight cars with bogies of different designs / S. V. Myamlin, O. O. Ten, L. O. Neduzha // Наука та прогрес транспорту. – № 3 (51). – 2014. – С. 136–145. doi: 10.15802/stp2014/25921.
25. Research of friction indices influence on the freight car dynamics / S. Myamlin, L. Neduzha, O. Ten, A. Shvets // ТЕКА Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, № 4. – P. 159–166.

Л. О. НЕДУЖА^{1*}, А. О. ШВЕЦЬ^{2*}

^{1*}Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 810 51 65, ел. пошта nlorhen@i.ua, ORCID 0000-0002-7038-3006

^{2*}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

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ АРМ WINMACHINE ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА РОЗРАХУНКАХ У МАШИНОБУДУВАННІ

Мета. Для проведення досліджень на всіх етапах проектування, розробки, експлуатації, визначення остаточного ресурсу (а саме: попереднього дослідження, вибору принципів дії, розробок ескізного та технічного проектів, їх оптимізації, підготовки конструкторської документації та керуючої інформації для автоматизованих виробництв, всебічного інженерного аналізу) необхідно використовувати найсучасніші комп'ютерні технології. Їх використання дозволяє не лише відтворювати дані й відомості тим чи іншим способом, а також надає можливість ефективно та безпосередньо взаємодіяти з інформаційним об'єктом, що створюється або демонструється. Метою дослідження є аналіз теоретичних підходів та механізмів здійснення практичних розрахунків у галузях промисловості для вирішення сучасних задач за допомогою програмних комплексів. **Методика.** При виконанні інженерних розрахунків, пов'язаних із аналізом міцності машин, механізмів, конструкцій, на практиці використовують як аналітичні, так і чисельні методи. Найбільшого поширення при аналізі напружено-деформованого стану моделей об'єктів, отримання їх динамічних характеристик і характеристик стійкості при постійних та змінних режимах зовнішнього навантаження отримав метод кінцевих елементів, який реалізовано в багатьох відомих й широко розповсюджених програмних продуктах, що забезпечують міцнісний розрахунок моделей машин, механізмів, конструкцій. **Результати.** Обґрунтовано використання розглянутого сучасного програмного комплексу для проектування деталей машин й різноманітних видів їх з'єднань та міцнісного аналізу конструкцій. Кольорові карти розподілу напружень, переміщень, внутрішніх зусиль, коефіцієнтів запасу міцності та ін. дозволяють дуже точно і швидко визначати найбільш небезпечні місця в конструкції. Програма забезпечує можливість «заглянути» всередину елементів та побачити розподіл виникаючих внутрішніх силових чинників. **Наукова новизна.** Розглянуто недосліджені на даний період аспекти, що пов'язані з сучасним станом та перспективами розвитку промислового виробництва, використання програмного комплексу при проектуванні та розрахунках у машинобудівній галузі. Розроблено обґрунтування застосування програмного комплексу для розв'язання задач, які спрямовані на використання результатів досліджень для різних практичних завдань у конкретних галузях машинобудування. **Практична значимість.** У порівнянні з іншими програмними комплексами популярність даного полягає у легкому засвоєнні системи, швидкому впровадженні як у навчальний, так і у виробничий процеси. Організаційна структура й «дружній» графічний інтерфейс, доступність мови роблять вивчення та застосування програми дуже зручним. Ці та інші чинники реально скорочують час на реалізацію проектів, підкреслюють актуальність та практичне значення програмного комплексу, що повинно бути гідно оцінено його користувачами при проведенні подальших досліджень.

Ключові слова: сучасний програмний комплекс; машинобудування; машина; механізм; конструкція; інженерний розрахунок; міцність

Л. А. НЕДУЖАЯ^{1*}, А. А. ШВЕЦ^{2*}

^{1*}Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 810 51 65, эл. почта nlorhen@i.ua, ORCID 0000-0002-7038-3006

^{2*}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

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА АРМ WINMACHINE ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАСЧЕТАХ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Цель. Для проведения исследований на всех этапах проектирования, разработки, эксплуатации, определения остаточного ресурса (а именно: предварительного исследования, выбора принципов действия, разработок эскизного и технического проектов, их оптимизации, подготовки конструкторской документации

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

и управляющей информации для автоматизированных производств, всестороннего инженерного анализа) необходимо использование самых современных компьютерных технологий. Их использование позволяет не только воспроизводить данные и сведения тем или иным способом, а также предоставляет возможность эффективно и непосредственно взаимодействовать с информационным объектом, который создается или демонстрируется. Целью исследования является анализ теоретических подходов и механизмов осуществления практических расчетов в отраслях промышленности для решения современных задач с помощью программных комплексов. **Методика.** При выполнении инженерных расчетов, связанных с анализом прочности машин, механизмов, конструкций на практике используют как аналитические, так и численные методы. Наибольшее распространение при анализе напряженно-деформированного состояния моделей объектов, получения их динамических характеристик и характеристик устойчивости при постоянных и переменных режимах внешней нагрузки получил метод конечных элементов, реализованный во многих известных и широко распространенных программных продуктах, обеспечивающих прочностной расчет моделей машин, механизмов, конструкций. **Результаты.** Обосновано использование рассматриваемого современного программного комплекса для проектирования деталей машин и различных видов их соединений и прочностного анализа конструкций. Цветные карты распределения напряжений, перемещений, внутренних усилий, коэффициентов запаса прочности и др. позволяют очень точно и быстро определять наиболее опасные места в конструкции. Программа обеспечивает возможность «заглянуть» внутрь элементов и увидеть распределение возникающих внутренних силовых факторов. **Научная новизна.** Рассмотрены неисследованные на данный период аспекты, связанные с современным состоянием и перспективами развития промышленного производства, использования программного комплекса при проектировании и расчетах в машиностроительной отрасли. Разработано обоснование применения программного комплекса для решения задач, направленных на использование результатов исследований для различных практических задач в конкретных отраслях машиностроения. **Практическая значимость.** По сравнению с другими программными комплексами популярность данного заключается в легком усвоении системы, быстром его внедрении как в учебный, так и в производственный процессы. Организационная структура и «дружественный» графический интерфейс, доступность языка делают изучение и применение программы очень удобным. Эти и другие факторы реально сокращают время на реализацию проектов, подчеркивают актуальность и практическое значение программного комплекса, что должно быть достойно оценено его пользователями при проведении дальнейших исследований.

Ключевые слова: современный программный комплекс; машиностроение; машина; механизм; конструкция; инженерный расчет; прочность

REFERENCES

1. APM Structure3D. *Sistema rascheta i proyektirovaniya detaley i konstruktsiy metodom konechnykh elementov. Versiya 9.2: rukovodstvo polzovatelya* (APM Structure3D. The system of calculation and design of components and structures using finite element method. Version 9.2. User's guide)]. Available at: <http://www.apm.ru> (Accessed 10 February 2016).
2. Agapov V.P. *Metod konechnykh elementov v statike, dinamike i ustoychivosti prostranstvennykh tonkostennykh podkreplennykh konstruktsiy* [The finite element method in statics, dynamics and stability of the space thin-walled reinforced constructions]. Moscow, ACB Publ., 2000. 152 p.
3. AO «Kalugaputmask» (LC «Kalugaputmask»). Available at: <http://www.kalugaputmask.ru> (Accessed 10 February 2016).
4. Bate K. *Chislennyye metody analiza i metod konechnykh elementov* [Numerical methods of analysis and finite element method]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1982. 448 p.
5. Gallager R. *Metod konechnykh elementov. Osnovy* [The finite element method. Foundations]. Moscow, Mir Publ., 1984. 428 p.
6. Darkov A.V., Shaposhnikov N.N. *Stroitel'naya mekhanika* [Building mechanics]. Moscow, High School Publ., 1986. 462 p.
7. *Demikhovskiy mashinostroitel'nyy zavod* (Demikhovskiy Machinery Plant). Available at: <http://www.dmzavod.ru> (Accessed 10 February 2016).
8. *Dystanciine navchannia. Opir materialiv* (Distance Learning. Strength of Materials). Available at: <http://www.moodle.diiit.edu.ua> (Accessed 10 February 2016).
9. Zamriy A.A. *Proyektirovaniye i raschet metodom konechnykh elementov trekhmernykh konstruktsiy v srede APM Structure3D* [Design and finite element analysis of three-dimensional structures in the APM environment Structure 3D]. Moscow, APM Publ., 2006. 288 p.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

10. Zenkevich O. *Metod konechnykh elementov v tekhnike* [The finite element method in the technique]. Moscow, Mir Publ., 1975. 544 p.
11. Ivanov B.E. *Resheniye zadach dinamiki i ustoychivosti stroitelnykh konstruksiy metodom konechnykh elementov* [The solution of problems of dynamics and stability of building structures using finite element method]. Moscow, IIS Publ., 1990. 288 p.
12. Kononov D., Daryukhin A. Ispolzovaniye programmnoy kompleksa APM WinMachine dlya issledovaniya ostatochnogo resursa portalnykh kranov [Using APM WinMachine software package for the study of the residual resource of gantry cranes]. *SAPR i grafika – CAD and Graphics*, 2008, issue 3. pp. 84-87.
13. Krylov I.V. *Informatsiini tekhnologii: teoriia i praktyka* [Information Technology: Theory and Practice]. Moscow, Center Publ., 2006. 128 p.
14. Myamlin S.V., Neduzha L.A., Shvets A.A. *Vyznachennia vplyvu pokaznykiv tertia v systemi «kuzov-vizok» na dynamiku vantazhnoho vahona* [Determining the impact of friction parameters in the «body-bogie» on the dynamics of freight cars]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 2 (50), pp. 152-163. doi: 10.15802/stp2014/23792.
15. Promyslovist. Heoghrapiia osnovnykh haluzei promyslovosti svitu (enerhetyka, metalurhiia, mashynobuduvannia, khimichna promyslovist, lisova ta derevoobrobna promyslovist, lehka promyslovist (Industry. Location of key industries in the world (energy, metallurgy, chemical industry, timber and woodworking industry, light industry)). Available at: <http://ukrmap.su/uk-g11/1345.html> (Accessed 10 February 2016).
16. Prochnostnoy raschet zheleznodorozhnogo koleasa s koltsevoy kanavkoy na bokovoy poverkhnosti stupitsy. APM: Raschety mekhaniki i prochnosti konstruksiy (Strength calculation railway wheel with an annular groove on the lateral surface of the hub. APM: Calculations mechanics and strength of structures). Available at: http://cae.apm.ru/galereya_vipolnennih_proektov/mashinostroenie/avto_i_geleznodorozhnyi_transport/geleznodorozhnoe_koleso (Accessed 10 February 2016).
17. Sinitsin A.P. *Metod konechnykh elementov v dinamike sooruzheniy* [The finite element method in dynamics of structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1978. 232 p.
18. *Sklad i struktura promyslovoho vyrobnytstva ta aktualni problemy yoho rozvytku* (Composition and structure of industrial production and actual problems of development). Available at: <http://www.info-library.com.ua/books-text-6010.html> (Accessed 10 February 2016).
19. Smirnov A.F. *Metody rascheta sterzhnevyykh sistem, plastin i obolochek s ispolzovaniyem EVM* [Methods of calculating rod, plates and shells with using computers]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1976. 248 p.
20. Timoshenko S.P., Dzh. Gere. *Mekhanika materialov* [Mechanics of materials]. Moscow, Mir Publ., 1976. 670 p.
21. Khechumov R.A. *Primeneniye metoda konechnykh elementov k raschetu konstruksiy* [The finite elements method application for calculating of structures]. Moscow, DIA Publ., 1994. 354 p.
22. Clough R., Penzien J. *Dynamics of Structure*. New-York, McGraw-Hill Book Co. Publ., 1975. 634 p.
23. Myamlin S., Neduzha L., Ten O., Shvets A. Determination of Dynamic Performance of Freight Cars Taking Into Account Technical Condition of Side Bearers. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2013, no. 1 (43), pp. 162-169. doi: 10.15802/stp2013/9589.
24. Myamlin S.V., Neduzha L.A., Ten O.O. Experimental Research of dynamic qualities of freight cars with bogies of different designs. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 3 (51), pp. 136-145. doi: 10.15802/stp2014/25921.
25. Myamlin S., Neduzha L., Ten O., Shvets A. Research of friction indices influence on the freight car dynamics. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 2013, no. 4 (13), pp. 159-166.

Prof. Yu. V. Zelenko, Sc. Tech. (Ukraine); Prof. V. Ye. Volkova, Sc. Tech. (Ukraine) recommended this article to be published

Accessed: Feb., 02. 2016

Received: Apr., 24. 2016

UDC 629.463.62.018 – 048.35

O. H. REIDEMEISTER¹, V. O. KALASHNYK^{2*}, O. A. SHYKUNOV³¹Dep. «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 0000-0001-7490-7180^{2*}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 0000-0002-8073-4631³Dep. «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 tri_s@ua.fm, ORCID 0000-0001-8256-2634MODERNIZATION AS A WAY TO IMPROVE THE USE
OF UNIVERSAL CARS

Purpose. The main design requirements of the modernized cars are those allowing reduction of operating costs and improvement of economic efficiency of their use. Due to the relevance of this subject the work presents the complex of conducted research, which will allow in prospect to use the universal flatcar, converted according to the Technical specifications TU 3182-065-71390252-2911 for container service. The research includes: evaluation of strength, fatigue safety of the design elements and conformity assessment of the strength characteristics of the modernized flatcar elements to the regulatory documents. **Methodology.** The analysis covers the use of specialized and universal rolling stock for transportation of containers, as well as the issues of modernization of universal cars. The strength of the flatcar bearing structure is evaluated based on the complex of numerical and experimental studies. The experimental part includes the static, repair load and impact tests. The car strength qualities and the fatigue safety are evaluated on the basis of calculated and experimental data. **Findings.** The conducted static, repair load and impact tests, given the quasi-static longitudinal forces, allowed the evaluation of the car structure strength according to the regulatory documents. The calculated and experimental data make it possible to assess the fatigue safety of structural elements. The present work is completed by obtaining the results that allow performing reasonable re-equipment of universal flatcars with baseplates with fitting stops to fasten the containers. **Originality.** The results of calculated and experimental studies showed that the modernized flatcars meet the conditions of strength and have sufficient fatigue safety factor. This makes it possible to recommend the re-equipment of universal flatcars for all car-repair enterprises that submitted the prototypes. **Practical value.** The complex of works was conducted that demonstrated the possibility of re-equipment of universal flatcars for the transportation of large containers. Part of the car fleet, kept in reserve, with little material costs can be transferred to the operational fleet. The modernization – re-equipment of universal flatcars with stationary specialized devices will increase the car usability coefficient.

Keywords: flatcar; container; centre sill; structural strength; static tests; longitudinal loads; impact tests; fitting stop; stress; strength evaluation

Introduction

In the last decade the average annual growth in global container traffic reached 3%. This growth requires augmentation of the rolling stock with cars for container service. This can be carried out by specialized container service cars and using the universal rolling stock (gondola cars, flatcars).

The car-building enterprises such as CJSC «Protractor-Wagon», CJSC «UK BMZ», OJSC «Azov», OJSC «Altaivagon», OJSC «Dneprovagonmash», OJSC «ZMK», OJSC «KVSZ», OJSC «Ruzkhimmash», OJSC «Tverskoy VSZ», OJSC «Transmash» offer a wide

range of 40, 60, 80-foot cars for container service [5], [6], [7], [8]. Further to the work on improvement of such cars OJSC «Azovmash» and OJSC NVC «Vagony» conducted the research and developed the design of modern articulated flatcars for container service [1], [5], [11]. However, the completion of the rolling stock with new flatcars is not a quick process both technically and economically.

Therefore, there is a question of using the cars of existing operating fleet.

Analysis of the inventory rolling stock of Russian Railways, presented in [12], showed that a largest number of cars in reserve are flatcars

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

(37%), whose normative service life (32 years) has not expired and there is an opportunity to use them for further operation after the modernization.

Problems of modernization and re-equipment of cars for transportation of containers, pipes, timber, etc. were the most substantively considered by OJSC NVC «Vagony» [2], [3], [4], [12]. Here, for several years they have been conducted the research of ways for modernization (design study) and justification of the further operation of modernized cars. One of the developments is the modernization of flatcars of models 13-401 and 13-4012 for transportation of large containers. They developed Technical specifications TU 3182-065-71390252-2911 and carried out a wide range of theoretical and experimental studies, including: car negotiation, dynamic qualities, car design stability, static and impact strength tests. The research results lead to approval by Russian Railways of TU that were recommended for widespread use. The modernization of universal flatcars for transportation of heavy tonnage containers implies the equipment of cars with baseplates with fitting stops to fasten the containers (Fig. 1). The modernized flatcars are marked 13-401-50 and 13-4012-50 respectively. The production of equipment is agreed in time with the scheduled type of repair (roundhouse servicing or overall repair).

a



b



Fig. 1. Arrangements of fitting stop

Herewith, the enterprise producing the repair should be included in the list of enterprises that have the right to re-equip the flatcars of these models.

The figure shows that the elevated fitting stop (Fig. 1. a) allows placing of containers, while the lowered stop (Fig.1.b) – a wide range of goods. Also, such arrangement of baseplates does not prevent from placing a wide range of goods when the fitting stops are lowered. Thus, the flatcar can be used for transporting cargo in both directions, which greatly increases its efficiency.

Purpose

The enterprise, which re-equips the flatcars in accordance with TU 3182-065-71390252-2911, should produce a prototype, conduct acceptance testing, and an accredited test centre – preliminary, periodic and standard tests. RPE «Vagonnik» engaged Dnipropetrovsk National University of Railway Transport (DNURT) to perform the tests. Furthermore RPE specialists and employees took part in tests performance, including: static strength tests, collision strength tests and calculation-experimental evaluation of the structure fatigue safety.

There were tested 6 flatcars, which undergone modernization in various car repair depots of OJSC «VRK», located on the territory of the East Siberian, Far Eastern, Trans-Baikal, North and South Urals Railways.

Methodology

Prior to the tests the tensoresistors (sensors) were stuck onto the bearing elements of the car frame. Herewith one side of the car (with respect to the longitudinal symmetry axis) was the primary one, and the other – the control one (one or two sensors in the section). Fig. 2 shows the arrangement of sections on the car frame and designation (abbreviation) of elements. In total there are 12 sections on the left and the right sides (with respect to the longitudinal axis) of the car, which house 44 sensors. Designations of elements are as follows: CS – centre sill, SS – side sill, SB – span bolster, LB – longitudinal beam, DG – diagonal, LBM – longitudinal beam in the car middle.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

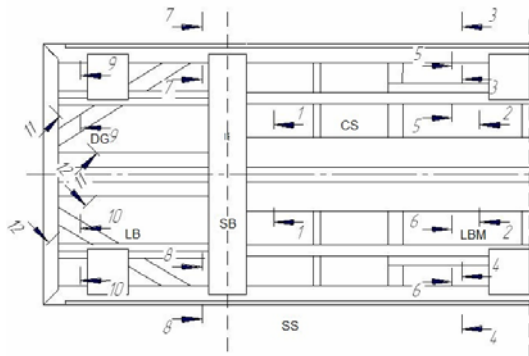


Fig. 2. Arrangement of sections on the flatcar frame

The main purpose of the static strength test was the compliance check of flatcar structure element strength index with the requirements of regulatory documentation.

There were conducted static vertical (a) and repair load tests (Fig. 3);



Fig. 3. Static vertical (a) and repair (b) load diagrams

The static vertical load was tested by way of loading flatcar with two 20-foot containers with a gross mass of 23.5 tons and 24.5 tons. During the test the stresses in the frame elements were fixed when the car was empty and laden.

The repair load tests included the following modes:

- Lifting of laden car using both ends of the span bolster;

- Lifting of laden car using one end of the span bolster;

- Lifting of empty car using the opposite ends of the span bolster (by diagonal).

The collision strength tests were conducted by the hammer-car locomotive rolling onto the prototype car, standing in the retaining wall (Fig. 3). The wall was formed by 5 loaded cars with total weight of more than 300 tons.



Fig. 4. Arrangement of prototype car and a retaining wall

During the collision strength tests the following parameters were recorded: collision speed, force in automatic coupler (impact force), dynamic stresses in the car elements. Collisions were made in the speed range of 5...13 km/h. At the same time, in the course of collisions the car was periodically inspected for the structural integrity of the car, of the containers and baseplates with fitting stops. All kinds of tests were carried out with the use of tension metering and recording equipment of DNURT on the territory of the car repair depot Chelyabinsk. Processes were recorded on electronic media (PC) with their subsequent processing. Measured strains for all kinds of tests by known methods were transformed into stresses.

The strength structure was evaluated by summing-up the stresses caused by the vertical loads due to the weight of the car cargo and containers, the estimated longitudinal tensile load by I (2.0 MN) and III (1.0 MN) design modes, the estimated longitudinal compressive load by I (2.5 MN) and III (1.0 MN) design modes, the dynamic addition of the vertical load (mode III), the lateral load (III mode). The stress values due to quasi-static longitudinal loads were obtained by calculation.

When evaluating the car collision strength there were taken into account the stresses due to vertical

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

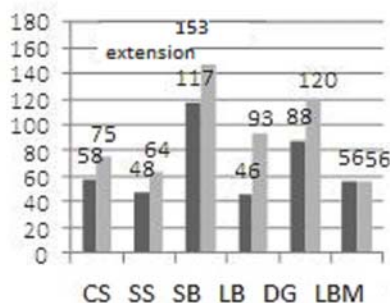
load and collision longitudinal load, reduced to the force of 3.5 MN.

The main task of calculation-experimental evaluation of the structure fatigue safety was to check the compliance of flatcar structure fatigue safety index with the requirements of regulatory documentation. For this purpose the equivalent stress amplitude value was determined, that allowed calculating the endurance limit and the fatigue safety factor. When evaluating the fatigue resistance there were taken into account both the vertical and longitudinal loads. Stresses due to vertical loads were determined by car dumping from wedges (determining the stress frequency and amplitude), while stresses due to longitudinal loads were obtained in the course of the strength collision.

Findings

The results of structure strength evaluation allowed building the diagrams of stress values in the main elements taking into account the longitudinal compression and extension loads (Fig. 5).

a



b

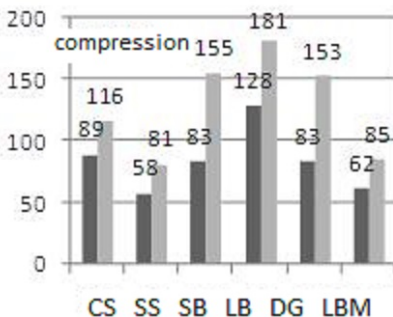


Fig. 5. Stresses (in MPa) in the flatcar elements by I and III design mode:
a – extension; b – compression

The lighter shade in the figure marks the stresses by I design mode, the darker one – by III design mode, the designation of elements corresponds to Fig. 2.

The figure shows that the most stressful elements are the span bolster, the cross-bearers and the diagonal. Herewith the value of total stresses by I design mode under longitudinal compressive loads is higher and reaches 181 MPa in the cross-bearer. It should be noted that while the tensile loads result mostly in strained span bolster, the compressive ones force the work of cross-bearer and centre sill (I mode). Weak entry into operation of side sills also may be noted – the maximum stress under compressive load was 81 MPa. In general, the concerned flatcars are characterized by a low level of stresses, and their values are significantly lower than the permitted ones in both design modes (Table 1).

Table 1

The values of allowable stresses in the elements

| Element | Allowable stresses by modes, MPa | | |
|-------------------------------|----------------------------------|--------|-----|
| | I | | III |
| | extension/ compression | impact | |
| Centre sill and span bolsters | 274.5 | 305 | 190 |
| Side sill and cross beams | 289.75 | 305 | 195 |

The evaluation results of the car collision strength with the longitudinal force of 3.5 MN are shown in Fig. 6. The stresses in 4012-50 model flatcar elements are shown in grey, those of 401-50 model – in black. Designation of elements corresponds to Fig. 2.

The diagram shows that the most stressful elements are the span bolster, the frame longitudinal beams and the diagonal – 189...252 MPa. The active entry into operation of 4012-50 model flatcar side sills should be noted (174 MPa), while 4012-50 model has the stress level in the centre sill by 23% lower than in the side sill. This can be attributed to a difference in frame structural variations. Since the longitudinal force value of 3.5 MN results in operation of the car element metal in the range of low-cycle fatigue, then the allowable

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

stresses $[\sigma] = \sigma_T = 305 \text{ MPa}$ (see Table 1). In general, the stress values in the flatcar elements, when the impact force is 3.5 MPa, are lower than the permitted ones.

The results of calculation-experimental evaluation of the structure fatigue safety showed that the value of the fatigue safety factor is above the regulatory value (1.5) in all sections of the flatcar elements. Fig. 7 shows the diagrams of fatigue safety factor values for the car basic elements. Fig. 7 *a* corresponds to the model 4012-50, Fig. 7 *b* – 401-50. Here the darker line shows the minimum values, while the lighter line – the maximum values of

the fatigue safety factor, designation of the elements corresponds to Fig. 2.

Maximum and minimum values of fatigue safety factor are recorded in the same section of the structural elements. The diagram shows that the distribution nature of safety factor values along the flatcars is the same. The minimum fatigue safety factor values for 4012-50 model are in the range of 1.61...1.97, while for 401-50 model are a little lower – 1.51...1.82. But for both models the fatigue safety factor values are not lower than the regulatory ones (1.5).

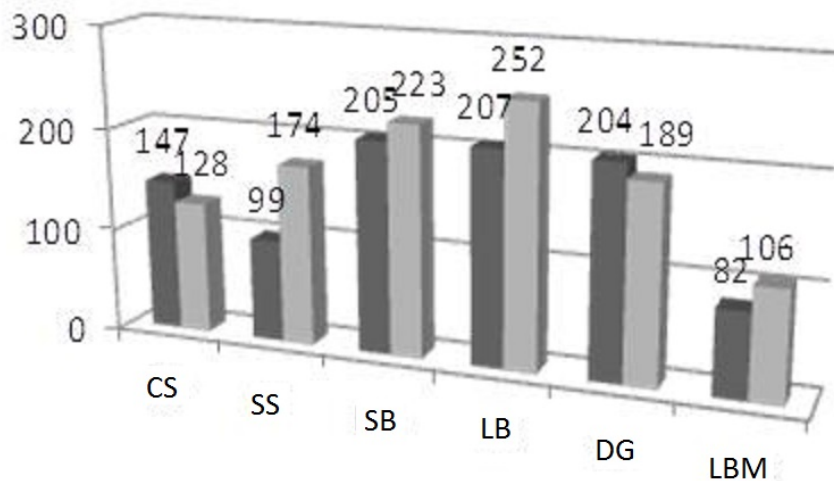


Fig. 6. Collision stress values (vertically, MPa) in the flatcar elements

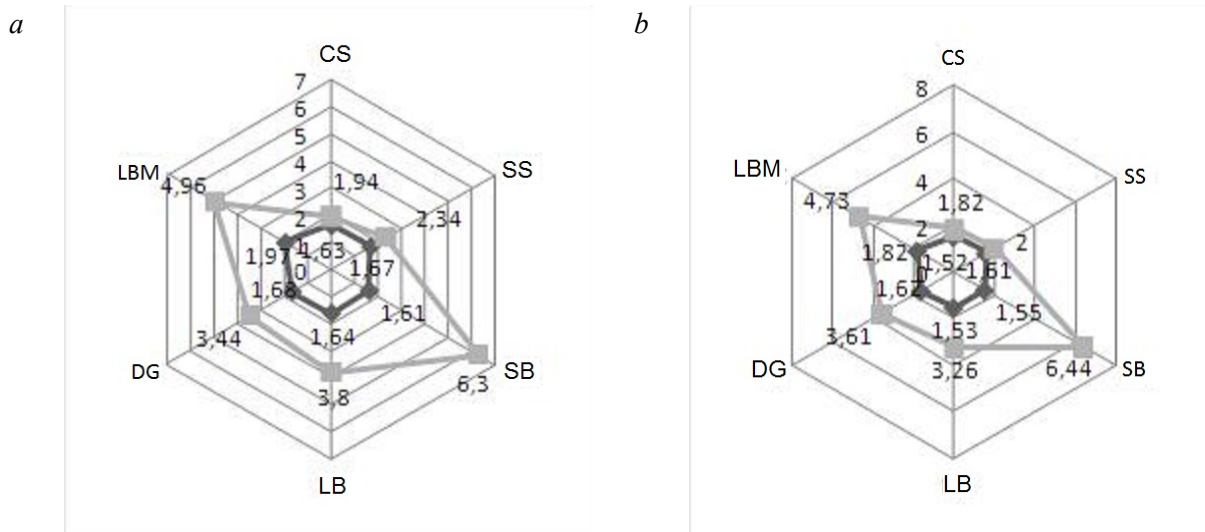


Fig. 7. Diagram of fatigue safety factor values of the flatcar elements

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Originality and practical value

The results of the conducted static and impact tests, computation-experimental evaluation of the structure fatigue safety factor for flatcar models 4012-50 and 401-50 verified compliance of the modernized flatcars with regulatory requirements. The research results can be the basis for the removal of flatcars from reserve and their re-equipment for transportation of large containers.

These positive results of prototype tests after the modernization performed during the scheduled repairs in six car-repair depots allow these depots to re-equip the flatcars of the mentioned models commercially.

Conclusions

The conducted research provided rationalization for modernization of universal flatcars for container service according to TU 3182-065-71390252-2911 in the conditions of the car-repair enterprises. This makes it possible to use the rolling stock cars that are out of operation.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Битюцкий, А. А. Оценка эффективности сочлененных контейнерных платформ / А. А. Битюцкий // Вагонный парк. – 2013. – № 10. – С. 34–38.
2. Бороненко, Ю. П. Динамические испытания контейнеров при продольных соударениях / Ю. П. Бороненко, А. М. Орлова, А. Н. Смирнов // Опасные грузы и контейнеры. – 2004. – № 1-2. – С. 50–53.
3. Бороненко, Ю. П. Динамические испытания на продольные соударения контейнеров и вагонов для их перевозки / Ю. П. Бороненко, А. М. Орлова, А. Н. Смирнов // Экспериментальное кольцо ВНИИЖТ-70 : тез. докл. Междунар. конф. – Щербинка, 2002. – С. 141–142.
4. Бороненко, Ю. П. Модернизация и переоборудование грузовых вагонов – путь к повышению эффективности грузоперевозок / Ю. П. Бороненко, Е. М. Попов // Инновации в эксплуатации и развитии инфраструктуры железнодорожного транспорта : науч.-практ. конф. / ВНИИЖТ. – Москва, 2004. – С. 6–7.
5. Бубнов, В. М. Совершенствование конструкции подвижного состава для перевозки контейнеров / В. М. Бубнов, С. В. Мямлин, Н. Л. Гуржи // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 26. – С. 11–14.
6. Морчиладзе, И. Г. Совершенствование вагонов-платформ для международной перевозки контейнеров. / И. Г. Морчиладзе, А. В. Третьяков, А. М. Соколов // Железные дороги мира. – 2006. – № 8. – С. 52–55.
7. Мямлин, С. В. Перевозка контейнеров железнодорожным транспортом / С. В. Мямлин, А. В. Шатунов, А. В. Сороколет // Проблемы та перспективи розвитку залізн. трансп. : тези доп. 70 Міжнар. наук.-практ. конф. (15.04–16.04.2010) / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, Схід. наук. центр трансп. акад. України. – Дніпропетровськ, 2010. – С. 76–77.
8. Мямлин, С. В. Повышение грузоподъемности вагонов-платформ для перевозки контейнеров / С. В. Мямлин, В. М. Бубнов, Н. Л. Андрущенко // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : тез. докл. V междунар. науч.-техн. конф. (4.06–6.06.2007) / Петербург. гос. ун-т путей сообщ. – Санкт-Петербург, 2007. – С. 42–44.
9. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва : ГосНИИВ : ВНИИЖТ, 1996. – 354 с.
10. Об улучшении использования универсальных платформ / А. Г. Рейдемейстер, В. А. Калашник, В. Ю. Поддубный [и др.] // Проблемы та перспективи розвитку залізн. трансп. : тези 74 Міжнар. наук.-практ. конф. (15.05–16.05.2014) / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 85–86.
11. Орлова, А. М. Исследование динамических качеств сочленённого вагона-платформы на математических моделях / А. М. Орлова, Е. А. Рудакова / Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 23. – С. 85–88.
12. Шайтанова, И. К. Выбор направлений модернизации универсальных вагонов-платформ / И. К. Шайтанова // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. – Санкт-Петербург, 2005. – Вып. 1. – С. 65–70.
13. Cichy, R. Wymagania TSI «tabor kolejowy- wagony towarowe» do przewozu naczepr drogowych w systemach intermodalnych / R. Cichy, M. Medwid / Pojazdy Szynowe. – 2012. – № 3. – С. 40–44.
14. Czaplicki, J. M. On the system: truck-workshop in the queue theory terms / J. M. Czaplicki // Maintenance and Reliability. – 2007. – № 3 (35). – С. 7–10.
15. Stoilov, V. Study of fatigue in welded joints and stress notches of wagon series s(g)mmns with

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

methods of UIC and DVS 1612 [Electronic re-
source] / V. Stoilov, S. Slavchev, S. Purgic. –
P. 66–69. – Available at: [\[ing.com/journal/Archive/2012/9/nano/82_Stoilov%20d1%20en_tm'12.pdf\]\(http://www.mech-ing.com/journal/Archive/2012/9/nano/82_Stoilov%20d1%20en_tm'12.pdf\). Title from the screen. –
Accessed : 24.02.2016.](http://www.mech-</p>
</div>
<div data-bbox=)

О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР¹, В. О. КАЛАШНИК^{2*}, О. А. ШИКУНОВ³

¹Каф. «Вагони та 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

^{2*}Каф. «Вагони та 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

³Каф. «Вагони та 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 tri_s@ua.fm, ORCID 0000-0001-8256-2634

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЯК СПОСІБ ПОЛІПШЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ УНІВЕРСАЛЬНИХ ВАГОНІВ

Мета. Основними вимогами до конструкції модернізованих вагонів є ті, які дозволять знизити експлуатаційні витрати та підвищити економічну ефективність їх використання. У зв'язку з актуальністю цієї тематики необхідно провести комплекс досліджень, який дозволить у подальшому використовувати універсальні платформи, переобладнані відповідно до Технічних умов ТУ 3182–065–71390252–2911 під перевезення контейнерів. У процесі досліджень передбачається виконати: оцінку міцності, запасу опору втомі елементів конструкції та оцінку відповідності характеристик елементів модернізованої платформи нормативній документації. **Методика.** Проведено аналіз використання для перевезення контейнерів спеціалізованого та універсального рухомого складу, питань модернізації універсальних вагонів. Виконано оцінку міцності несучої конструкції платформ на підставі комплексу розрахункових і експериментальних досліджень. Експериментальна частина включає в себе випробування: статичні, ударні та на ремонтні навантаження. Проведено оцінку якостей вагона на міцність і запасу втомної міцності на базі розрахунково-експериментальних даних. **Результати.** На підставі проведених статичних, ударних та на ремонтні навантаження випробувань, із урахуванням квазістатичних поздовжніх сил, проведена оцінка міцності конструкції вагонів згідно нормативної документації. Розрахунково-експериментальні дані дозволяють зробити оцінку запасу опору втомі елементів конструкції. Дана робота завершена отриманням результатів, які дозволяють обґрунтовано здійснювати переобладнання універсальних платформ опорними плитамі з фітинговими упорами для кріплення контейнерів. **Наукова новизна.** Результати проведених розрахункових та експериментальних досліджень показали, що модернізовані платформи відповідають умовам міцності й мають достатній запас опору втомі. Це дозволяє рекомендувати переобладнання універсальних платформ серійно всім вагоноремонтним підприємствам, що представили дослідні зразки. **Практична значимість.** Авторами проведений комплекс робіт, на підставі яких обґрунтована можливість переобладнання універсальних платформ під перевезення великотоннажних контейнерів. Частина вагонного парку, що знаходиться в запасі, з невеликими матеріальними витратами може бути переведена в експлуатаційний парк. За рахунок проведеної модернізації – переобладнання універсальних платформ стаціонарними спеціалізованими пристроями, – збільшується коефіцієнт використання вагона.

Ключові слова: платформа; контейнер; хребтова балка; міцність конструкції; статичні випробування; поздовжні навантаження; ударні випробування; фітинговий упор; напруження; оцінка міцності

А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР¹, В. А. КАЛАШНИК^{2*}, А. А. ШИКУНОВ³

¹Каф. «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

^{2*}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

³Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. /факс +38 (056) 793 19 16,
эл. почта tri_s@ua.fm, ORCID 0000-0001-8256-2634

МОДЕРНИЗАЦИЯ КАК СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ВАГОНОВ

Цель. Основными требованиями к конструкции модернизированных вагонов являются те, которые позволят снизить эксплуатационные расходы и повысить экономическую эффективность их использования. В связи с актуальностью данной тематики необходимо провести комплекс исследований, который позволит в дальнейшем использовать универсальные платформы, переоборудованные согласно Техническим условиям ТУ 3182–065–71390252–2911 под перевозку контейнеров. В процессе исследований предполагается произвести: оценку прочности, запаса сопротивления усталости элементов конструкции и оценку соответствия прочностных характеристик элементов модернизированной платформы нормативной документации. **Методика.** Проведен анализ использования для перевозки контейнеров специализированного и универсального подвижного состава, вопросов модернизации универсальных вагонов. Выполнена оценка прочности несущей конструкции платформ на основании комплекса расчетных и экспериментальных исследований. Экспериментальная часть включает в себя испытания: статические, ударные и на ремонтные нагрузки. Произведена оценка прочностных качеств вагона и запаса усталостной прочности на базе расчетно-экспериментальных данных. **Результаты.** На основании проведенных статических, ударных и на ремонтные нагрузки испытаний, с учетом квазистатических продольных сил, произведена оценка прочности конструкции вагонов согласно нормативной документации. Расчетно-экспериментальные данные позволяют произвести оценку запаса сопротивления усталости элементов конструкции. Данная работа завершена получением результатов, которые позволяют обоснованно производить переоборудование универсальных платформ опорными плитами с фитинговыми упорами для крепления контейнеров. **Научная новизна.** Результаты проведенных расчетных и экспериментальных исследований показали, что модернизированные платформы отвечают условиям прочности и имеют достаточный запас сопротивления усталости. Это позволяет рекомендовать переоборудование универсальных платформ серийно всем вагоноремонтным предприятиям, представившим опытные образцы. **Практическая значимость.** Авторами проведен комплекс работ, на основании которых обоснована возможность переоборудования универсальных платформ под перевозку крупнотоннажных контейнеров. Часть вагонного парка, находящаяся в запасе, с небольшими материальными затратами может быть переведена в эксплуатационный парк. За счет проведенной модернизации – переоборудования универсальных платформ стационарными специализированными устройствами, – увеличивается коэффициент использования вагона.

Ключевые слова: платформа; контейнер; хребтовая балка; прочность конструкции; статические испытания; продольные нагрузки; ударные испытания; фитинговый упор; напряжения; оценка прочности

REFERENCES

1. Bityutskiy A.A. Otsenka effektivnosti sochlenennykh konteynernykh platform [Evaluating the efficiency of the coupled container platforms]. *Vagonnyy park – Car Fleet*, 2013, no. 10, pp. 34-38.
2. Boronenko Yu.P., Orlova A.M., Smirnov A.N. Dinamicheskiye ispytaniya konteynerov pri prodolnykh soudareniyakh [Dynamic tests of containers at longitudinal collisions]. *Opasnyye gruzy i konteynery – Dangerous Cargoes and Containers*, 2004, no. 1-2, pp. 50-53.
3. Boronenko Yu.P., Orlova A.M., Smirnov A.N. Dinamicheskiye ispytaniya na prodolnyye soudareniya konteynerov i vagonov dlya ikh perevozki [Dynamic tests for longitudinal collisions of containers and cars for their transportation]. *Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii «Eksperimentalnoye koltso VNIIZhT-70»* [Proc. of Intern. Conf. «Test Loop ARSRIRT-70»]. Shcherbinka, 2002, pp. 141-142.
4. Boronenko Yu.P., Popov Ye.M. Modernizatsiya i pereoborudovaniye gruzovykh vagonov – put k povysheniyu effektivnosti gruzoperevozok [Modernization and re-equipment of freight cars is a way to improve the efficiency of freight transportations]. *Nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Innovatsii v ekspluatatsii i razvitii infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta»* [Sci. and Practical Conf. «Innovations in service and railway transport infrastructure development»]. Moscow, 2004, pp. 6-7.
5. Bubnov V.M., Myamlin S.V., Gurzhi N.L. Sovershenstvovaniye konstruktсии podvizhnogo sostava dlya perevozki konteynerov [The improvement of the rolling stock design for containers transportation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 26, pp. 11-14.
6. Morchiladze I.G., Tretyakov A.V., Sokolov A.M. Sovershenstvovaniye vagonov-platform dlya mezhdunarodnoy perevozki konteynerov [Improvement of the flat cars for the international transportation of containers]. *Zheleznyye dorogi mira – Railways of the World*, 2006, no. 8, pp. 52-55.
 7. Myamlin S.V., Shatunov A.V., Sorokolet A.V. Perevozka konteynerov zheleznodorozhnym transportom [Transportation of containers by railway transport]. *Tezy dopovidei 70 Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transpotu»* [Theses of the 70th Int. Sci. and Practical Conf. «Problems and prospects of railway transport development»]. Dnipropetrovsk, 2010, pp. 76-77.
 8. Myamlin S.V., Bubnov V.M., Andryushchenko N.L. Povysheniye gruzopodyemnosti vagonov-platform dlya perevozki konteynerov [Increasing the carrying capacity of flat cars for transportation of containers]. *Tezisy dokladov V mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty»* [Theses of the 5th Int. Sci. and Techn. Conf. «Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, and projects»]. Saint Petersburg, 2007, pp. 42-44.
 9. *Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [The rules for calculation and design of (unpowered) cars of the Transportation Ministry with the track 1520 mm]. Moscow, GosNIIV-VNIIZhT Publ., 1996. 354 p.
 10. Reydeymeyster A.G., Kalashnik V.A., Podlubnyy V.Yu. Ob uluchshenii ispolzovaniya universalnykh platform [About the use improvement of the multi-purpose platforms]. *Tezy 74 Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transpotu»* [Theses of the 74th Intern. Sci. and Practical Conf. «Problems and prospects of railway transport development»]. Dnipropetrovsk, 2014. pp. 85–86.
 11. Orlova A.M., Rudakova Ye.A. Issledovaniye dinamicheskikh kachestv sochlenennogo vagona-platformy na matematicheskikh modelyakh [The study of the dynamic properties of the articulated flat-car on mathematical models]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 23, pp. 85-88.
 12. Shaytanova I.K. Vybory napravleniy modernizatsii universalnykh vagonov-platform [Selection the modernization directions of the multi-purpose flat cars]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Saint Petersburg University of Communication Lines], 2005, issue 1, p. 65-70.
 13. Cichy R., Medwid M. Wymagania TSI «tabor kolejowy- wagony towarowe» do przewozu naczep drogowych w systemach intermodalnych. *Pojazdy Szynowe*, 2012, no. 3, pp. 40-44.
 14. Czaplicki J.M. On the system: truck-workshop in the queue theory terms. *Maintenance and Reliability*, 2007, no. 3 (35), pp. 7-10.
 15. Stoilov V., Slavchev S., Purgic S. Study of fatigue in welded joints and stress notches of wagon series s (g)mmns with methods of UIC and DVS 1612, pp. 66-69. Available at: http://www.mech-ing.com/journal/Archive/2012/9/nano/82_Stoilov%20d1%20en_tm'12.pdf (Accessed: 24 February 2016).

Chief Research Associate V. L. Horobets, Dr. Sc. (Tech) (Ukraine); Chief Structural Engineer of PJSC «Dneprovagonmash» Dolynskyi S. V. (Tech) (Ukraine) recommended this article to be published

Received: Jan. 14, 2016

Accepted: March 22, 2016

UDC 629.4.027.31-272.82

O. H. REIDEMEISTER^{1*}, A. V. KIVISHEVA^{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 19, e-mail reidemeister@mail.ru, ORCID 0000-0001-7490-7180^{2*}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 19, e-mail nastaci@yahoo.com, ORCID 0000-0001-8811-7243DEPENDENCE OF AIR SPRING PARAMETERS
ON THROTTLE RESISTANCE

Purpose. In this paper it is necessary to conduct: 1) research and analyse the influence of throttle element pneumatic resistance on elastic and damping parameters of air spring; 2) to obtain the dependence of air spring parameters on throttle element pneumatic resistance value. **Methodology.** The work presents the elaborated model of the air spring as a dynamic system with three phase coordinates (cylinder pressure, auxiliary reservoir pressure, cylinder air mass). Stiffness and viscosity coefficients were determined on the basis of system response to harmonic kinematic disturbance. The data for the analysis are obtained by changing the capacity of the connecting element and the law of pressure variation between the reservoir and the cylinder. The viscosity coefficient is regarded as the viscosity ratio of the hydraulic damper, which for one oscillation cycle consumes the same energy as the air spring. The process of air condition change inside the cylinder (reservoir) is considered to be adiabatic; the mass air flow through the connecting element depends on the pressure difference. **Findings.** We obtained the curves for spring viscosity and stiffness coefficients dependence on the throttle resistance at three different laws, linking airflow through the cylinder with the pressure difference in cylinder and reservoir. At both maximum and minimum limiting resistance values the spring viscosity tends to zero, reaching its peak in the mean resistance values. Stiffness increases monotonically with increasing resistance, tends to the limit corresponding to the absence of an auxiliary reservoir (at high resistance) and the increase in cylinder volume by the reservoir volume (at low resistance). **Originality.** The designed scheme allows determining the optimal parameters of elastic and damping properties of the pneumatic system as function of the throttle element air resistance. **Practical value.** The ability to predict the parameters of elastic and damping properties of the pneumatic system as function of the throttle element air resistance will improve the running performance of carriages, the comfort of passenger transportation and reduce the wear of the rolling stock and the track caused by interaction of carriage and rails.

Keywords: spring suspension; air spring; viscosity coefficient; stiffness coefficient

Introduction

Air springs are the most progressive elastic elements of running gear, which are used in passenger car bogies. Their main advantage is the ability to maintain the position of the body at a certain level relative to the rail heads, regardless of the load, due to automatic adjustment of air pressure within the spring [4, 6, 7]. Furthermore, they have good noise and vibration reduction properties, providing comfort of passengers [9, 12, 16].

Ability to take up high horizontal and diagonal displacements as well as the torsional strength make the air suspension systems an attractive solution for use on all bogies [1, 4, 7].

There are several types of air spring systems [4, 8, 10, 14] (air damper and air spring with one or two extra reservoirs) and it is convenient to de-

scribe their dynamic properties with the help of the mechanical equivalent model.

To date, the most common for use on passenger cars is a pneumatic system design, consisting of an air spring and an auxiliary reservoir. The reservoir is needed to reduce the vertical stiffness [4, 7, 13]. As an auxiliary reservoir the internal cavity of the bogie frame truss is used; besides the auxiliary reservoirs may be located in the car body or in the space under the body.

As a rule, the air springs are limited by size according to the condition of their location on the bogie frame, so they are separated from auxiliary reservoirs and communicate with the latter by connecting pipes. The pipes are equipped with connecting elements, which have a calibrated vent holes. When overflowing from the cylinder into the

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

auxiliary reservoir the air has to overcome an air resistance of the connecting element, causing the spring to get the damping characteristics along with the elastic ones.

Purpose

The purpose of this work is to research and analyse the influence of throttle element pneumatic resistance on elastic and damping parameters of air spring. To obtain the dependence of air spring parameters on throttle element pneumatic resistance value.

The changes in the connecting element flow capacity largely affect the overall pneumatic system. For the analysis of the newly constructed or improved existing air suspension system the issue of the connecting element capacity, along with the capacity of the auxiliary reservoir and the air spring casing, is an extremely important parameter.

Methodology

To analyse the dependence of elastic and damping properties of air suspension system (hereinafter – the spring) on the connecting element parameters we consider the spring (Fig. 1) comprising the following components: rubber-cord casing cylinder (1), reservoir (4), piping (3) and connecting element (2).

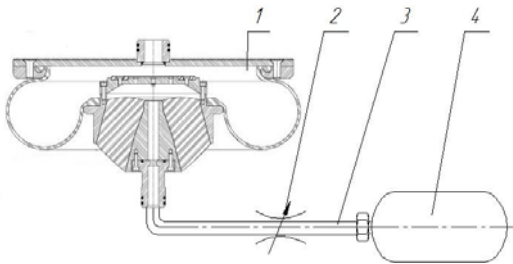


Fig. 1. Diagram of air spring with reservoir

The spring is considered as a dynamic system with three phase coordinates (cylinder pressure, auxiliary reservoir pressure, cylinder air mass). The process of air condition change inside the cylinder (reservoir) is adiabatic; the mass air flow through the connecting element depends on the difference of cylinder and reservoir pressure. [15].

The spring has the following parameters: cylinder volume V_1 and reservoir volume V_2 , support surface area S (we assume that it is independent of cambering of spring), air mass m . The total pressure in cylinder and reservoir is denoted by p_1 and

p_2 , respectively. They differ from the excessive one by the atmospheric pressure value p_a .

The set of equations describing the system operation is as follows:

$$\begin{cases} \frac{\dot{p}_1}{p_1} + \gamma \cdot \frac{(-F \cdot \dot{z})}{V_1} - \gamma \cdot \frac{\dot{m}_1}{m_1} = 0 \\ \frac{\dot{p}_2}{p_2} - \gamma \cdot \frac{\dot{m}_2}{m_2} = 0 \\ m_1 + m_2 = m \\ \dot{m}_2 = f(p_1 - p_2), \end{cases} \quad (1)$$

where z – cambering of spring; m_1 – air cylinder mass; m_2 – reservoir air mass; γ – polytropic exponent; f – function defining the mass air flow through the connecting element.

We assume that the spring operation proceeds at the ambient temperature equal to $t=25^\circ\text{C}$ and the pressure equal to $p_a = 1 \text{ atm}$.

Equations (1) are interdependent, which allows approximate representation of the air spring as the elastic element with stiffness C and the viscous friction element with viscosity β (Fig. 2) mounted in parallel [5].

Let us consider cinematic excitation of this system, when its deformation is described by the expression $z = a \cdot \sin 2\pi f$ (a – body oscillation amplitude, f – disturbing frequency).

The maximum strength occurs when $z = a$ (the signs are not significant), it is equal to:

$$p_{\max} = C \cdot a, \quad (2)$$

and the work done by an external power source per full oscillation cycle -to the viscous friction element operation, i.e.

$$A = 2\pi^2 \cdot f \cdot a \cdot \beta, \quad (3)$$

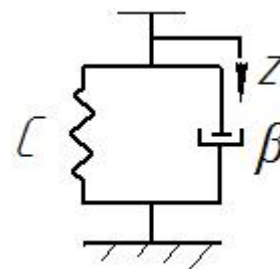


Fig. 2. The equivalent mechanical system

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Expressions (2) and (3) are used for determining the equivalent stiffness and viscosity of the air spring. For this purpose we integrate the equation (1) when $z = a \cdot \sin 2\pi f t$, which will allow determining the spring overpressure p_1 as a function of time t . The force exerted by the external source on the spring supporting surface is equal to:

$$p = (p_1 - p_a) \cdot S,$$

and the work of this force per oscillation period is equal to:

$$A = \int p dz = 2\pi f \int_0^t \cos 2\pi f t \cdot p(t) dt$$

Having determined $p_{\max} = \max_t p(t)$ and A , we find the equivalent coefficients:

$$C = p_{\max} / a, \quad (4)$$

$$\beta = A / 2 \cdot \pi^2 \cdot f \cdot a^2. \quad (5)$$

The research is carried out at a variable amplitude of oscillations ($a = 0.005\text{m}$, $a = 0.010\text{m}$, $a = 0.020\text{m}$).

Taking into account the dependence of changes in gas (liquid) flow value on the section resistance and the vessel pressure employed in the fluid dynamics [2, 11, 14], we choose the dependence of pressure difference changes $\sqrt{(p_1 - p_2)}$, but for the research completeness and based on various types of connecting elements, we do not neglect the following dependencies: $(p_1 - p_2)$, $(p_1 - p_2)^2$.

Calculations are carried out with different flow capacity of the connecting element: from virtually open connecting element, which equalizes the cylinder and reservoir pressure, to almost completely closed one, which shuts off the cylinder from the reservoir [3].

Under these assumptions, we determine the dependence of cylinder overpressure p_1 on time t . The obtained data on pressures allow drawing the conclusions about the work done by the system, its equivalent coefficients of stiffness and viscosity under various operating conditions.

Findings

We obtained the curves for three laws of pressure variation of air suspension stiffness and viscosity characteristics, as well as determined the system operation depending on the connecting element flow capacity (Fig. 3-5.):

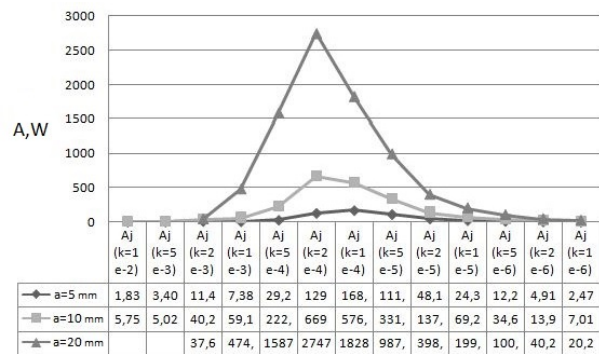


Fig. 3. Dependence of system operation on element pneumatic resistance when $\sqrt{(p_1 - p_2)}$

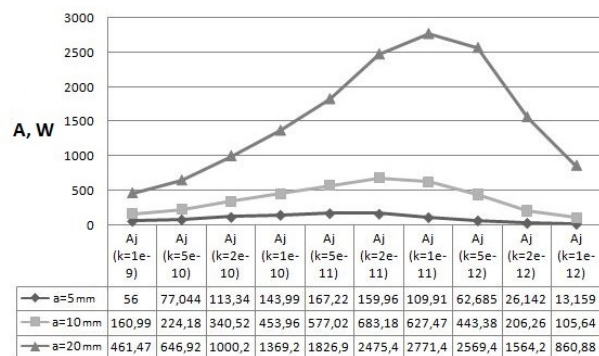


Fig. 4. Dependence of system operation on element pneumatic resistance when $(p_1 - p_2)$

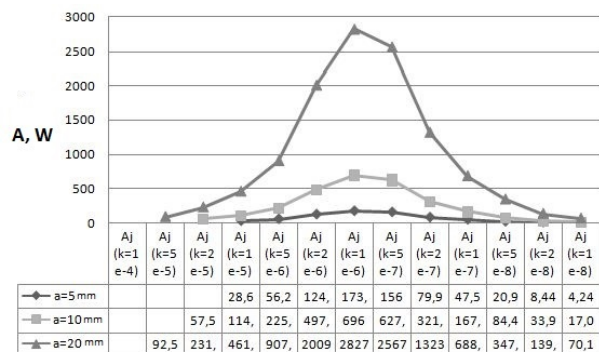


Fig. 5. Dependence of system operation on element pneumatic resistance when $(p_1 - p_2)^2$

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

As can be seen from the above curves, the system indicates the lowest peak value of the work performed in case of pressure difference change curves $\sqrt{(p_1 - p_2)}$. Likewise in case of the curve $\sqrt{(p_1 - p_2)}$ the maximum system performance level is achieved at the beginning of the opening cycle of the connecting element, that allows achieving the system peak performance for a shorter period of time than that of systems with pressure change dependences $(p_1 - p_2)$, $(p_1 - p_2)^2$.

It is also natural that the maximum work performed by the system falls to the oscillation amplitude of 0.020 m, whereas when the oscillation amplitude is 0.0050 m, the changes in the system operation in case of decreased flow capacity of the connecting element are insignificant.

Analyzing the formula (3), it can be concluded that the more work that the system makes, the higher the pressure needs to be maintained in the cylinder for its high-quality work, which in turn can lead to complication in spring supply system. However, the fundamental parameters for spring operation are stiffness and viscosity, not its work. Therefore, it is advisable to analyze these figures for all three dependences of pressure change.

For the above-mentioned law of the spring support surface motion, the phase shift between p_1 and z is virtually absent, which makes it possible to estimate the stiffness spring by the formula (4). Whereas the equivalent viscosity coefficient is determined as the viscosity coefficient of the hydraulic damper, which absorbs per one oscillation cycle the same energy as the air spring by the formula (5).

We obtain the following curves of spring stiffness and viscosity coefficient dependence on the parameters characterizing the pneumatic resistance of the element that connects the cylinder with the auxiliary reservoir (Fig. 6-11):

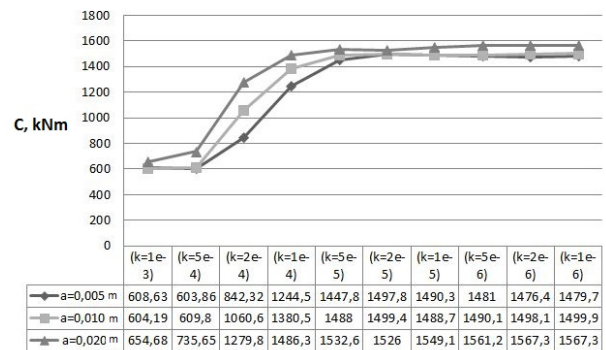


Fig. 6. Curve of stiffness coefficient dependence on the parameters characterizing the element pneumatic resistance where $\sqrt{(p_1 - p_2)}$

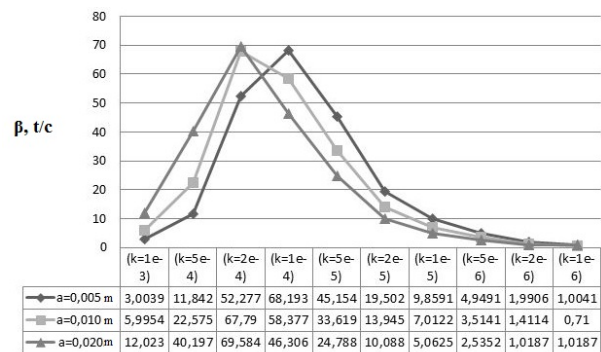


Fig. 7. Curve for viscosity coefficient dependence on the parameters characterizing the element pneumatic resistance where $\sqrt{(p_1 - p_2)}$

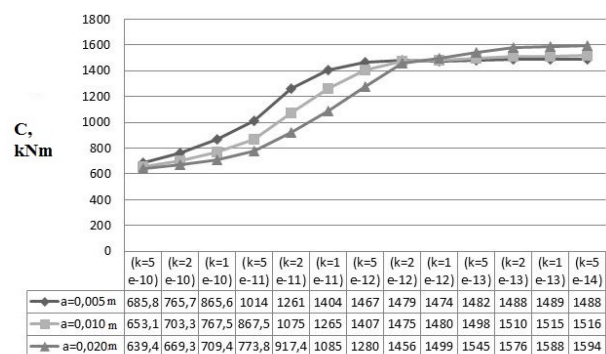


Fig. 8. Curve of stiffness coefficient dependence on the parameters characterizing the element pneumatic resistance where $(p_1 - p_2)^2$

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

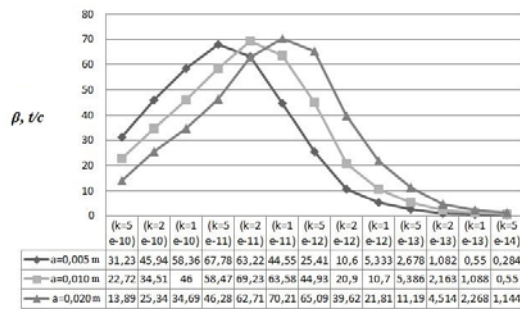


Fig. 9. Curve for viscosity coefficient dependence on the parameters characterizing the element pneumatic resistance where $(p_1 - p_2)^2$

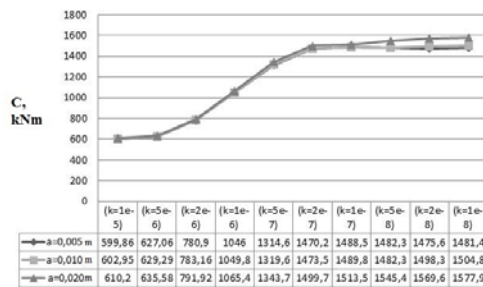


Fig. 10. Curve of stiffness coefficient dependence on the parameters characterizing the element pneumatic resistance where $(p_1 - p_2)$

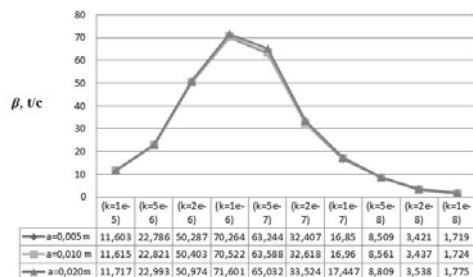


Fig. 11. Curve for viscosity coefficient dependence on the parameters characterizing the element pneumatic resistance where $(p_1 - p_2)$

By increasing the viscosity coefficient, the system smooth operation and, consequently, the level of passenger comfort is improved. The curves show that early achievement of maximum viscosity is observed for $\sqrt{(p_1 - p_2)}$ however, this figure is slightly lower than for $(p_1 - p_2)^2$ and $(p_1 - p_2)$.

Originality and practical value

The designed scheme allows determining the optimal parameters of elastic and damping properties of the pneumatic system as function of the

connecting element air resistance. The practical value is that the ability to predict the parameters of elastic and damping properties of the pneumatic system as function of the throttle element air resistance will improve the running performance of carriages, the comfort of passenger transportation and reduce the wear of the rolling stock and the track caused by interaction of carriage and rails.

Conclusions

Analysing the above curves, it can be concluded that the system stiffness coefficient increases significantly with increased resistance created by the connecting element, herewith the system viscosity tends to zero, which adversely affects the damping of the system. In its turn, the system viscosity is the highest at the mean resistance value of the flow generated by the connecting element. Moreover, the system reaches the maximum viscosity at the mean value of the stiffness coefficient that proves the beneficial effect on the system damping quality of the presence of the element with variable pneumatic resistance, which connects the cylinder with the auxiliary reservoir.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Басов, Г. Г. Теоретичні й експериментальні дослідження екіпажної частини тепловозів : навч. посібник / Г. Г. Басов, В. І. Нестеренко. – Луганськ : Ноулідж, 2011. – 247 с.
2. Войткова, Т. Г. Основы гидравлики : учеб. пособие / Т. Г. Войткова. – Иркутск : ИрГТУ, 2007. – 68 с.
3. Голечков, И. Ю. Об алгоритме оптимизации динамических параметров рельсового экипажа / И. Ю. Голечков, О. В. Дружинина, О. Н. Карпеченкова // Информ.-телекоммуник. технологии и математ. моделирование высокотехнолог. систем : тез. докладов Всерос. конф. с междунар. участием. – Москва, 2012. – С. 258–260.
4. Горобец, В. Л. Улучшение динамических характеристик тягового подвижного состава с использованием управления гашением энергии колебаний / В. Л. Горобец, Н. П. Снитко, А. Д. Лашко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 36. – С. 7–15.
5. Ибраев, Б. М. Параметры пневматического рессорного подвешивания рельсового автобуса для казахстанской железной дороги : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.22.07 / Ибраев

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- Бейбит Максutowич ; Моск. гос. ун-т путей сообщения. – Москва, 2009. – 24 с.
6. Камаев, В. А. Оптимизация параметров ходовых частей железнодорожного подвижного состава / В. А. Камаев. – Москва : Машиностроение, 1980. – 215 с
 7. Макаренко, Ю. В. Результаты исследования системы пневматического рессорного подвешивания транспортного средства с микропроцессорным управлением / Ю. В. Макаренко, В. Н. Балева, В. Г. Маслиев // Вестн. нац. техн. ун-та «ХПИ». – Харьков, 2001. – № 18. – С. 70–83.
 8. Мелихов, А. Н. Эффективная система демпфирования пневморессоры скоростного подвижного состава : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Мелихов Александр Николаевич ; Моск. государств. ун-т путей сообщ. – Москва, 1994. – 22 с.
 9. Механическая часть тягового подвижного состава : учеб. для вузов ж. -д. трансп. / И. Б. Бирюков, А. Н. Савойский, Г. П. Бурчак [и др.] ; под ред. И. В. Бирюкова. – Москва : Транспорт, 1992. – 440 с.
 10. Создание отечественных пассажирских вагонов на тележках с пневматическим подвешиванием / И. В. Приходько, В. Н. Дузик, С. В. Лутонин [и др.] // Развитие науч. шк. транспорт. механики : тез. междунар. науч.-техн. конф. (5.12.2013) / Мин-во образования и науки Украины // Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2013. – С. 40–45.
 11. Чухарева, Н. В. Расчет простых и сложных газопроводов / Н. В. Чухарева. – Томск : Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2010. – 13 с.
 12. Iwnicki, S. Handbook of Railway Vehicle Dynamics / S. Iwnicki. – New York : Taylor & Francis Group, 2006. – 527 p. doi: 10.1201/9781420004892.
 13. Modeling of the three-dimensional flow of polymer melt in a convergent channel of rectangular cross-section / K. B. Koshelev, G. V. Pyshnogra, M. Yu. Tolstykh // Fluid Dynamics. – 2015. – Vol. 50. – Iss. 3. – P 315–321. doi: 10.1134/s0015462815030011.
 14. Presthrus, M. Derivation of air spring model parameters for train simulation: Master of Science program [Electronic resource] // M. Presthrus. – 2002. – 75 p. – Available at : <http://epubl.ltu.se/1402-1617/2002/059/LTU-EX-02059-SE.pdf>. – Title from the screen. – Accessed : 10.12.2015.
 15. Rail applications design guide [Electronic resource] // Firestone Industrial Products Company. – 2005. – 52 p. – Available at: <http://www.ekomafirestone.pl/pdf/airail.pdf>. – Title from the screen. – Accessed : 10.12.2015.
 16. Leichtbau bei Schienenfahrzeugen – Bestand-saufnahme und Potenziale / Elek. Bahnen. – 2013. – № 1. – С. 8–12.

О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР^{1*}, А. В. КІВІШЕВА^{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*}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 nastaci@yahoo.com, ORCID 0000-0001-8811-7243

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПНЕВМАТИЧНОЇ РЕСОРИ ВІД ПНЕВМАТИЧНОГО ОПОРУ ДРОСЕЛЯ

Мета. В науковій роботі необхідно провести: 1) вивчення та аналіз впливу пневматичного опору дросельного елемента на пружні та демпфуючі властивості пневматичної ресори; 2) отримання залежності властивостей пневматичної ресори від величини пневматичного опору дросельного елемента. **Методика.** Розроблено модель пневматичної ресори як динамічної системи з трьома фазовими координатами (тиск у балоні і додатковому резервуарі, маса повітря в балоні). Коефіцієнти жорсткості та в'язкості визначені по відгуку системи на гармонійні кінематичні обурення. Дані для аналізу отримані шляхом зміни пропускної здатності з'єднувального елемента та закону зміни тисків між резервуаром і балоном. Коефіцієнт в'язкості розглядається як коефіцієнт в'язкості гідралічного гасителя, який за один цикл коливань поглинає ту ж енергію, що і пневматична ресора. Процес зміни стану повітря всередині балона (резервуара) вважається адиабатичним, масова витрата повітря через сполучний елемент залежить від різниці тисків. **Результати.** Отримано графічні залежності коефіцієнтів жорсткості та в'язкості ресори від опору дроселя при трьох різних законах, що зв'язують витрати повітря через балон із різницею тисків у балоні та резервуарі. При граничних (як великих,

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

так і менших) значеннях опору в'язкості ресори прагне до нуля, досягаючи максимуму в середньому діапазоні величин опору. Жорсткість монотонно зростає при збільшенні опору, прагнучи до меж, відповідним відсутності додаткового резервуару (при великому опорі) і збільшення обсягу балона на обсяг резервуара (при малому опорі). **Наукова новизна.** Розроблена схема дозволяє виявити оптимальні параметри пружних та демпфуючих властивостей пневматичної системи, залежно від пневматичного опору дросельного елемента. **Практична значимість.** Можливість прогнозування параметрів пружних та демпфуючих властивостей пневматичної системи, залежно від пневматичного опору дросельного елемента, дозволить поліпшити ходові характеристики вагонів, підвищити комфортабельність перевезення пасажирів, а також знизити знос рухомого складу та рейкової колії внаслідок взаємодії екіпаж-шлях.

Ключові слова: ресорне підвішування; пневматична ресора; коефіцієнт в'язкості; коефіцієнт жорсткості

А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР^{1*}, А. В. КИВИШЕВА^{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*}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 nastaci@yahoo.com, ORCID 0000-0001-8811-7243

ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ РЕССОРЫ ОТ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДРОССЕЛЯ

Цель. В научной работе необходимо провести: 1) изучение и анализ влияния пневматического сопротивления дросельного элемента на упругие и демпфирующие свойства пневматической рессоры; 2) получение зависимости свойств пневматической рессоры от величины пневматического сопротивления дросельного элемента. **Методика.** Разработана модель пневматической рессоры как динамической системы с тремя фазовыми координатами (давление в баллоне и дополнительном резервуаре, масса воздуха в баллоне). Коэффициенты жесткости и вязкости определены по отклику системы на гармоническое кинематическое возмущение. Данные для анализа получены путем изменения пропускной способности соединительного элемента и закона изменения давлений между резервуаром и баллоном. Коэффициент вязкости рассматривается как коэффициент вязкости гидравлического гасителя, который за один цикл колебаний поглощает ту же энергию, что и пневматическая рессора. Процесс изменения состояния воздуха внутри баллона (резервуара) считается адиабатическим, массовый расход воздуха через соединительный элемент зависит от разности давлений. **Результаты.** Получены графические зависимости коэффициентов жесткости и вязкости рессоры от сопротивления дросселя при трех разных законах, связывающих расход воздуха через баллон с разностью давлений в баллоне и резервуаре. При предельных (как больших, так и меньших) значениях сопротивления вязкость рессоры стремится к нулю, достигая максимума в среднем диапазоне величин сопротивления. Жесткость монотонно возрастает при увеличении сопротивления, стремясь к пределам, соответствующим отсутствию дополнительного резервуара (при большом сопротивлении) и увеличению объема баллона на объем резервуара (при малом сопротивлении). **Научная новизна.** Разработанная схема позволяет выявить оптимальные параметры упругих и демпфирующих свойств пневматической системы в зависимости от пневматического сопротивления дросельного элемента. **Практическая значимость.** Возможность прогнозирования параметров упругих и демпфирующих свойств пневматической системы в зависимости от пневматического сопротивления дросельного элемента позволит улучшить ходовые характеристики вагонов, повысить комфортабельность перевозки пассажиров, а также снизить износ подвижного состава и рельсовой колеи вследствие взаимодействия экипаж-путь.

Ключевые слова: рессорное подвешивание; пневматическая рессора; коэффициент вязкости; коэффициент жесткости

REFERENCES

1. Basov H.H., Nesterenko V.I. *Teoretychni y eksperymentalni doslidzhennia ekipazhnoi chastyny teplovoziv* [Theoretical and experimental studies of vehicle-parts for locomotives]. Luhansk, Noulidzh Publ., 2011. 247 p.
2. Voytkova T.G. *Osnovy gidravliki* [Fundamentals of hydraulics]. Irkutsk, IrGTU Publ., 2007. 68 p.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

3. Golechkov I.Yu., Druzhinina O.V., Karpechenkova O.N. Ob algoritme optimizatsii dinamicheskikh parametrov relsovogo ekipazha [About optimization algorithm of dynamic parameters for rail vehicle]. *Tezisy dokladov Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem «Informatsionno-telekomunikativnyye tekhnologii i matematicheskoye modelirovaniye vysokotekhnologicheskikh system»* [Abstracts of All Russian Conf. with Intern. Participation «Information and telecommunication technologies and mathematical modeling of hightech systems»]. Moscow, 2012, pp. 258-260.
4. Gorobets V.L., Snitko N.P., Lashko A.D. Uluchsheniye dinamicheskikh kharakteristik tyagovogo podvizhnogo sostava s ispolzovaniyem upravleniya gasheniyem energii kolebaniy [The diagnostic specifications improvement for rolling stock's traction with using of damping control of vibrational energy]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 36, pp. 7-15.
5. Ibraeyv B.M. *Parametry pnevmaticheskogo ressnogo podveshivaniya relsovogo avtobusa dlya kazakhstanskoy zheleznoy dorogi*. Avtoreferat. Diss. Kand. [Parameters of pneumatic spring suspension of the rail bus for the Kazakh Railways. Abstract of Cand. Diss.]. Moscow, 2009. 24 p.
6. Kamayev V.A. *Optimizatsiya parametrov khodovykh chastey zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava* [Optimization of running parts parameters of railway rolling stock]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1980. 215 p.
7. Makarenko Yu.V., Balev V.N., Masliyev V.G. Rezultaty issledovaniya sistemy pnevmaticheskogo ressnogo podveshivaniya transportnogo sredstva s mikroprotsessornym napravleniyem [System research results of the pneumatic spring suspension of a vehicle with microprocessor direction]. *Vestnik natsionalnogo tekhnicheskogo universitetata «KhPI»* [Bulletin of National Technical university «KhPI»]. 2001, no. 18, pp. 70-83.
8. Melikhov A.N. *Effektivnaya sistema dempfirovaniya pnevmoresory skorostnogo podvizhnogo sostava*. Avtoreferat. Diss. Kand [An effective damping system of spring-base for rolling stock. Abstract of Cand. Diss.]. Moscow, 1994. 22 p.
9. Biryukov I.B., Savoytskin A.N., Burchak G.P. *Mekhanicheskaya chast tyagovogo podvizhnogo sostava* [Mechanical part of traction rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1992. 440 p.
10. Prikhodko I.V., Duzik V.N., Lutonin S.V. Sozdaniye otechestvennykh passazhirskikh vagonov na telezhkakh s pnevmaticheskimi podveshivaniyem [Creation of domestic passenger cars on air suspension trucks]. *Tezisy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Razvitiye nauchnoy shkoly transportnoy mekhaniki (5.12.2013)»* [Abstracts of Intern. Sci. and Practical Conf. «Scientific school development of Transport Mechanics»]. Dnepropetrovsk, 2013, pp. 40-45.
11. Chukhareva N.V. *Raschet prostykh i slozhnykh gazoprovodov* [Calculation of simple and complex gas pipeline]. Tomsk, Tomskiy Politehnicheskiiy Universitet Publ., 2010. 13 p.
12. Iwnicki S. Handbook of Railway Vehicle Dynamics. New York, Taylor & Francis Group Publ., 2006. 527 p. doi: 10.1201/9781420004892.
13. Koshelev K.B., Pyshnogra G.V., Tolstykh M.Yu. Modeling of the three-dimensional flow of polymer melt in a convergent channel of rectangular cross-section. *Fluid Dynamics*, 2015, vol. 50, issue 3, pp. 315-321. doi: 10.1134/s0015462815030011.
14. Presthrus M. Derivation of air spring model parameters for train simulation: Master of Science program. 2002. 75 p. Available at: <http://epubl.ltu.se/1402-1617/2002/059/LTU-EX-02059-SE.pdf> (Accessed 10 December 2015).
15. Rail applications design guide. Firestone Industrial Products Company. 2005. 52 p. Available at: <http://www.ekomafirestone.pl/pdf/airail.pdf> (Accessed 10 December 2015).
16. Leichtbau bei Schienfahrzeugen – Bastandsaufnahme und Potenziale. *Elek. Bahnen*, 2013, no. 1, pp. 8–12.

Chief Researcher V. L. Horobets, Dr. Sc. (Tech.), (Ukraine); PhD Tech. T. V. Sheleiko (Ukraine)
recommended this article to be published

Accessed: Dec. 11, 2015

Received: March 25, 2016

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.4.077-592.52:004.94

Л. В. УРСУЛЯК^{1*}, Г. ВАЙЧИУНАС², Я. Н. РОМАНЮК³, В. ПЕТРЕНКО⁴,
Е. С. СТЕПЧЕНКОВА⁵

¹*Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 776 72 44, эл. почта lyudmila.urs@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5957-6926

²Каф. «Железнодорожный транспорт», Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса, ул. Й. Басанавичуса, 28, Вильнюс, Литва, LT-03224, тел. +37 (052) 74 48 03, эл. почта gediminas.vaiciunas@vgtu.lt

³Проектно-конструкторское технологическое бюро автоматизированных систем управления железнодорожного транспорта, пер. Сичевой, 4, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 776 72 44, эл. почта gotyana81@gmail.com, ORCID 0000-0001-6405-2780

⁴Каф. «Железнодорожный транспорт», Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса, ул. Й. Басанавичуса, 28, Вильнюс, Литва, LT-03224, тел. +37 (052) 74 48 03, эл. почта viaceslav.petrenko@vgtu.lt

⁵Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 776 72 44, эл. почта thisday@ukr.net, ORCID 0000-0003-1641-8455

О ФОРМЕ КРИВОЙ НАПОЛНЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ ЦИЛИНДРОВ В ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДАХ

Цель. В рамках научной работы нужно изучить влияние формы кривой наполнения тормозных цилиндров при различных режимах торможения на продольную динамику поезда. Необходимо оценить при этом уровень наибольших продольных сил и величину тормозных путей в грузовых поездах различной длины. **Методика.** В данной работе сделана попытка аппроксимировать реальные диаграммы наполнения тормозных цилиндров рациональными функциями различной степени. При подборе коэффициентов в искомых функциях в качестве контролируемых параметров использовались наибольшие значения продольных сил и тормозные пути, которые сопоставлялись с аналогичными величинами, полученными в результате опытных поездок. Уровень продольных сил и величину тормозных путей оценивали с помощью математического моделирования продольных колебаний поезда при переходных режимах движения, вызванных различными режимами торможения. **Результаты.** При математическом моделировании предполагалось, что поезд состоит из 60-ти однородных четырехосных полувагонов массой 80 тонн, оборудованных воздухораспределителями № 483 (включенными на средний режим работы), композиционными тормозными колодками, и одного локомотива ВЛ-8. Поезд перед началом торможения был предварительно растянут. Моделировались различные виды пневматических торможений (экстренное, полное служебное и регулировочное торможения) грузового поезда на горизонтальном участке пути. В результате расчетов были получены значения продольных сил, величины тормозных путей и время снижения скорости движения при различных режимах торможения. **Научная новизна.** Исследовано влияние формы кривой наполнения тормозных цилиндров на уровень продольных сил и величину тормозных путей в грузовых поездах. Исследована также продольная нагруженность грузовых поездов при различных пневматических торможениях. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы для оценки уровня наибольших продольных сил и тормозных путей в грузовых поездах разной длины путем математического моделирования различных режимов торможений.

Ключевые слова: математическое моделирование; переходные режимы; движение поезда; пневматическое торможение; продольные силы; тормозные пути

Введение

Как показывает опыт эксплуатации грузовых поездов, наиболее опасным режимом движения является торможение [5–14].

Цель

Обеспечение безопасности движения поездов требует совершенствования методики математического моделирования тормозных процессов, происходящих в грузовых поездах.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Методика

Моделюючи процеси торможения грузовых поездов, в ряде случаев график изменения во времени силы нажатия k тормозных колодок на колесо железнодорожного экипажа, которое пропорционально давлению воздуха в тормозном цилиндре, аппроксимируют кусочно-линейной зависимостью [1–4].

Предположим, что силу нажатия i -го экипажа $k_i(t)$ в процессе ее роста от нуля до максимального значения, можно описать рациональной функцией.

Подбирая параметры этой функции, предполагалось, что этап прижатия тормозных колодок к колесам (время выхода штока) уже завершен.

На основании проведенного анализа реальных диаграмм наполнения тормозных цилиндров, полученных по результатам многолетних, многочисленных опытов, проведенных с поездами в реальных условиях опытного кольца на станции Щербинка Московской ж.д. учеными ДИИТа и ВНИИЖТа, можно четко различить две фазы.

Первая фаза – более интенсивное наполнение тормозного цилиндра до значения $k_1(i)$ в течение малого промежутка времени, вторая фаза – время наполнения тормозного цилиндра от значения $k_1(i)$ до максимального значения k_{\max} .

Ниже на рис.1 изображены диаграммы наполнения тормозных цилиндров в грузовом поезде, составленного из 60 вагонов при полном служебном торможении.

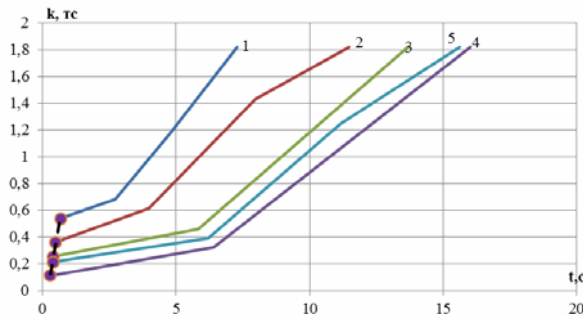


Рис. 1. Диаграммы наполнения тормозных цилиндров для различных экипажей поезда

Fig. 1. Diagrams of brake cylinder filling for different train vehicles

На рис. 1 линии 1–5 соответствуют изменению силы нажатия на колесо в 1-ом, 12-ом, 27-ом, 43-ем и 60-ом вагонах грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при полном служебном торможении. Значения первой узловой точки $k_1(i)$ на диаграммах отмечено круглым маркером.

Как видно из приведенного рисунка, наполнение тормозного цилиндра до значения силы нажатия $k_1(i)$, происходит более интенсивно, а время наполнения тормозных цилиндров до максимального значения k_{\max} возрастает от головного экипажа к хвостовому по нелинейному закону.

В табл. 1 приведены значения первой узловой точки из диаграммы наполнения тормозных цилиндров, полученной опытным путем и путем их аппроксимации нелинейной функцией, которая зависит от номера вагона.

Таблица 1

Значение первой узловой точки на диаграмме наполнения тормозных цилиндров для различных вагонов в грузовом поезде из 60 вагонов при полном служебном торможении

Table 1

Value of the first node point in the diagram of brake cylinder filling for various cars in a freight train among 60 cars at full service braking

| № вагона | Реальные диаграммы | | Аппроксимация | |
|----------|--------------------|-----------|---------------|-----------|
| | t, c | k_1, kH | t, c | k_1, kH |
| 1 | 0,68 | 0,536 | 0,7 | 0,55 |
| 12 | 0,49 | 0,36 | 0,5 | 0,36 |
| 27 | 0,39 | 0,25 | 0,37 | 0,27 |
| 43 | 0,29 | 0,11 | 0,29 | 0,19 |
| 60 | 0,39 | 0,21 | 0,25 | 0,12 |

Табл. 2 содержит значения времени наполнения тормозных цилиндров от нуля до значения k_{\max} .

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Таблица 2

Значения времени наполнения тормозных цилиндров от нуля до максимального значения для различных вагонов в грузовом поезде из 60 вагонов при полном служебном торможении

Table 2

Time values of brake cylinder filling from zero up to the maximum value for different cars in a freight train among 60 cars with full service braking

| № вагона | Реальные диаграммы | Аппроксимация |
|----------|--------------------|---------------|
| 1 | 7,28 | 7,35 |
| 12 | 11,47 | 11,17 |
| 27 | 13,69 | 14,12 |
| 43 | 16,2 | 15,99 |
| 60 | 15,63 | 17,27 |

Время наполнения тормозных цилиндров, приведенное в табл. 2, аппроксимировано рациональной зависимостью от номера вагона.

Из данных, приведенных в табл. 1 и 2 видно, что нестабильное срабатывание воздухораспределителей в грузовых вагонах привело к тому, что в реальных диаграммах сила нажатия $k_1(43)$ оказалась меньше $k_1(60)$, а время наполнения тормозного цилиндра до k_{\max} в 43-ем вагоне больше, чем в 60-ом.

Ниже на рис. 2–6 приведены диаграммы наполнения тормозных цилиндров в 1-ом, 12-ом, 27-ом, 43-ем, и 60-ом вагонах в грузовом поезде из 60 вагонов при полном служебном торможении, полученные с использованием рациональных функций.

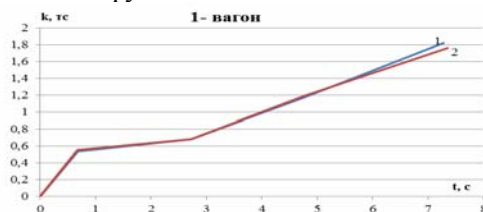


Рис. 2. Диаграмма наполнения тормозного цилиндра в 1-ом вагоне грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при полном служебном торможении

Fig. 2. Diagrams of brake cylinder filling in the first car of a freight train consisting of 60 cars at full service braking

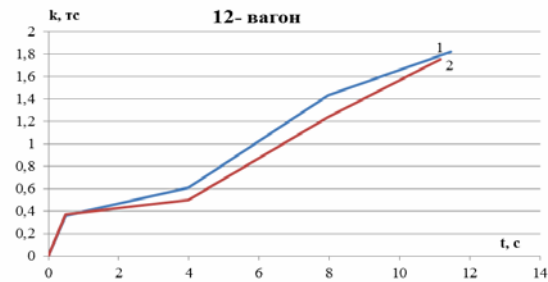


Рис. 3. Диаграмма наполнения тормозного цилиндра в 12-ом вагоне грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при полном служебном торможении

Fig. 3. Diagrams of brake cylinder filling in the 12th car of a freight train consisting of 60 cars at full service braking

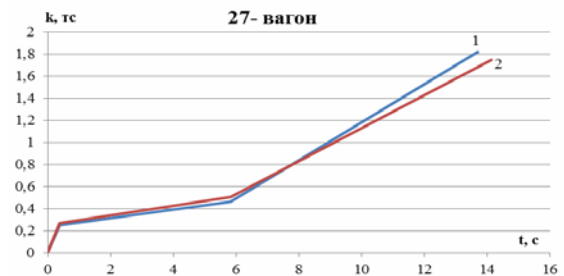


Рис. 4. Диаграмма наполнения тормозного цилиндра в 27-ом вагоне грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при полном служебном торможении

Fig. 4. Diagrams of brake cylinder filling in the 27th car of a freight train consisting of 60 cars at full service braking

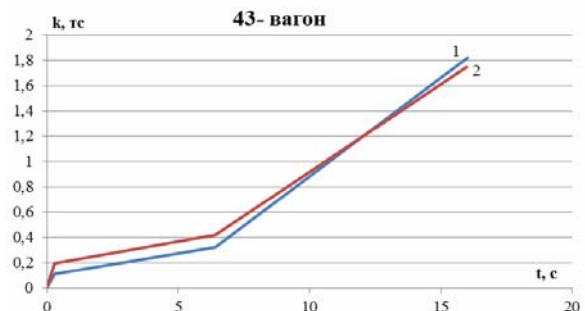


Рис. 5. Диаграмма наполнения тормозного цилиндра в 43-ом вагоне грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при полном служебном торможении

Fig. 5. Diagrams of brake cylinder filling in the 43^d car of a freight train consisting of 60 cars at full service braking

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

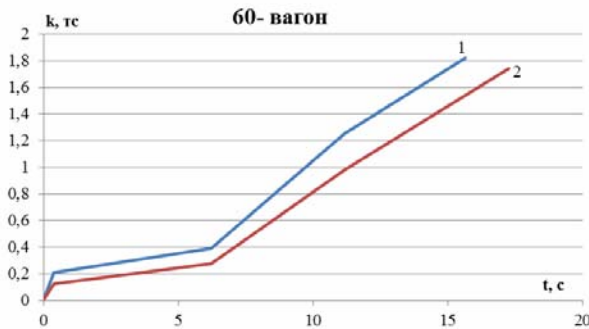


Рис. 6. Диаграмма наполнения тормозного цилиндра в 60-ом вагоне грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при полном служебном торможении

Fig. 6. Diagrams of brake cylinder filling in the 60th car of a freight train consisting of 60 cars at full service braking

Как известно, при экстренном торможении тормозные цилиндры наполняются более интенсивно, поэтому для моделирования указанного торможения диаграммы наполнения были получены по той же методике, но с использованием рациональных функций с другими коэффициентами.

Ниже в качестве примера на рис. 7–9 приведены диаграммы наполнения тормозных цилиндров в 1-ом, 27-ом и 60-ом вагонах грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при экстренном торможении.

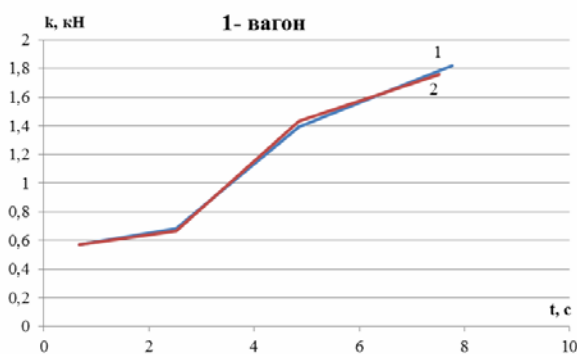


Рис. 7. Диаграмма наполнения тормозного цилиндра в 1-ом вагоне грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при экстренном торможении

Fig. 7. Diagrams of brake cylinder filling in the first car of a freight train consisting of 60 cars at emergency braking

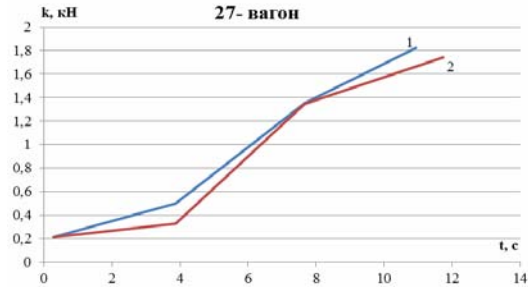


Рис. 8. Диаграмма наполнения тормозного цилиндра в 27-ом вагоне грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при экстренном торможении

Fig. 8. Diagrams of brake cylinder filling in the 27th car of a freight train consisting of 60 cars at emergency braking

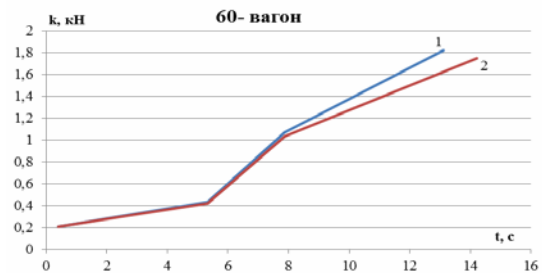


Рис. 9. Диаграмма наполнения тормозного цилиндра в 60-ом вагоне грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при экстренном торможении

Fig. 9. Diagrams of brake cylinder filling in the 60th car of a freight train consisting of 60 cars at emergency braking

На рис. 2–9 линии 1 соответствуют реальным диаграммам наполнения тормозных цилиндров, линии 2 – полученным путем аппроксимации реальных диаграмм рациональными функциями.

Из приведенных рисунков видно, что форма кривой наполнения тормозных цилиндров, полученная путем аппроксимации достаточно хорошо отображает реальные процессы, происходящие в тормозных цилиндрах при пневматических торможениях.

Форма кривой наполнения тормозных цилиндров и ее параметры существенно влияют на уровень продольных сил и величину тормозных путей. Поэтому представляет интерес исследовать процессы возникновения продольных сил и величины тормозных путей при пневматических торможениях.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Результаты

Моделировались различные виды пневматических торможений (ПСТ, ЭТ и РТ) грузового поезда на горизонтальном участке пути [3].

Полные служебные и экстренные торможения моделировались с начальной скорости движения $V_0 = 30$ км/ч до остановки, а регулировочные торможения с разрядкой тормозной магистрали на 0,8 атм со скорости $V_0 = 60$ км/ч до $V_k = 40$ км/ч.

Поезд перед началом торможения был предварительно растянут.

Предполагалось, что поезд состоит из 60-ти однородных четырехосных полувагонов массой 80 тонн и одного локомотива ВЛ-8.

Полагалось также, что вагоны оборудованы воздухораспределителями №483, включенными на средний режим работы, и композиционными тормозными колодками, а межвагонные соединения – упруго-фрикционными поглощающими аппаратами Ш-1-ТМ.

В результате расчетов были получены диаграммы распределения максимальных продольных сил вдоль длины поезда, зависимости наибольших продольных сил от времени движения и траектория движения.

Ниже в качестве примера приведены диаграммы распределения максимальных продольных сил вдоль длины поезда (рис. 10, 12 и 14) и зависимости наибольших продольных сил от времени движения (рис. 11, 13 и 15) для различных видов торможений.

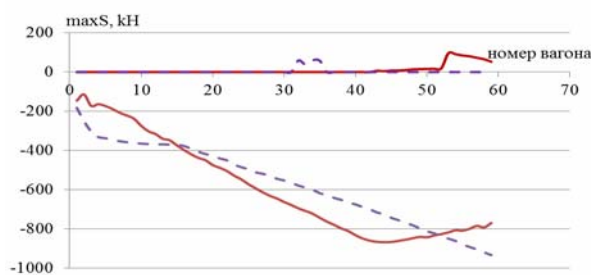


Рис. 10. Распределение максимальных значений продольных сил по длине поезда при регулировочном торможении

Fig. 10. Maximum values distribution of the longitudinal forces along the length of the train at adjusting braking

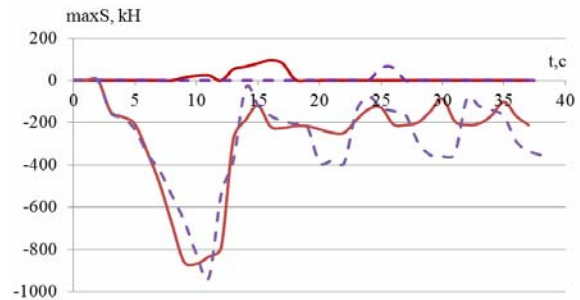


Рис. 11. Зависимость наибольших продольных сил от времени движения при регулировочном торможении

Fig. 11. Dependence of the largest longitudinal forces from the motion time at adjusting braking

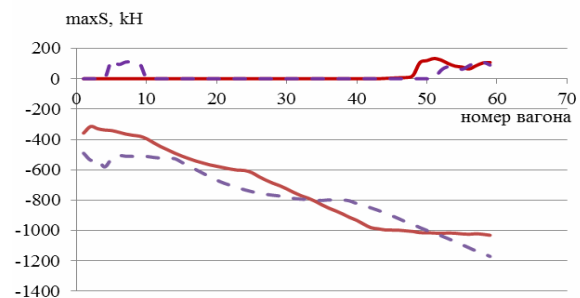


Рис. 12. Распределение максимальных значений продольных сил по длине поезда при полном служебном торможении

Fig. 12. Maximum values distribution of the longitudinal forces along the length of the train at full service braking

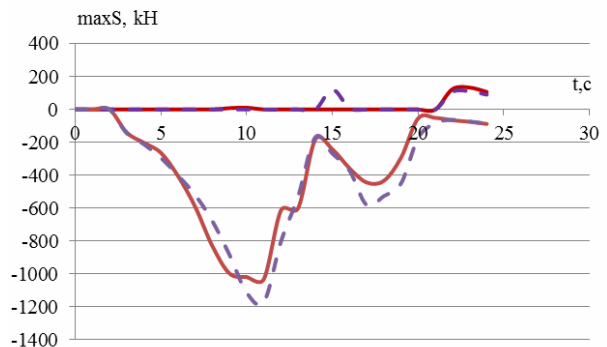


Рис. 13. Зависимость наибольших продольных сил от времени движения при полном служебном торможении

Fig. 13. Dependence of the largest longitudinal forces from the motion time at full service braking

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

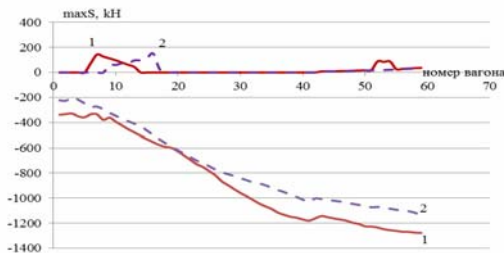


Рис. 14. Распределение максимальных значений продольных сил по длине поезда при экстренном торможении

Fig. 14. Maximum values distribution of the longitudinal forces along the length of the train at emergency braking

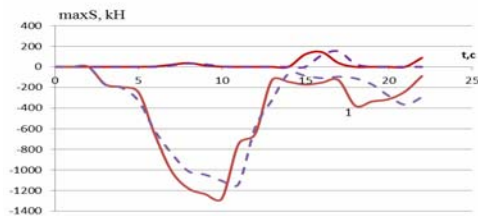


Рис. 15. Зависимость наибольших продольных сил от времени движения при экстренном торможении

Fig. 15. Dependence of the largest longitudinal forces from the motion time at emergency braking

На приведенных рисунках сплошные линии соответствуют моделированию торможений с использованием диаграмм наполнения тормозных цилиндров, полученных в реальных условиях, пунктирные – аппроксимация экспериментальных данных в виде рациональных функций.

Ниже в табл. 3 приведены значения тормозных путей и времен до остановки поезда при полном служебном и экстренном торможениях, при регулировочном торможении соответствующие величины получены при снижении начальной скорости движения на 20 км/ч.

Из графиков, изображенных на рис. 10–15, следует, что погрешность оценки уровня наибольших сжимающих продольных сил с использованием предложенной методики при регулировочном торможении не превышает 7,5 %, при полном служебном торможении – 13,5%, при экстренном торможении – 10 %.

Наибольшая погрешность величины тормозного пути при регулировочном торможении составила 2,5 %.

Таблица 3

Значения тормозных путей и времени движения при различных режимах торможения

Table 3

Values of braking distances and motion time at different braking modes

| Вид торможения | Реальные диаграммы | | Аппроксимация | |
|----------------|--------------------|-----------|---------------|-----------|
| | L , м | T , сек | L , м | T , сек |
| РТ | 37 | 525 | 38 | 538 |
| ПСТ | 24 | 135 | 24 | 137 |
| ЭТ | 22 | 121 | 22 | 123 |

Результаты, приведенные выше, показывают, что данная методика аппроксимации реальных диаграмм наполнения тормозных цилиндров рациональными функциями довольно хорошо отображает процессы, имеющие место при различных видах торможений.

Научная новизна и практическая значимость

Исследована продольная нагруженность грузовых поездов при различных пневматических торможениях. Оценено влияние формы кривой наполнения тормозных цилиндров в грузовых поездах на уровень продольных сил и величину тормозных путей. Приведенную методику следует иметь в виду при моделировании характеристик тормозных приборов подвижного состава железных дорог.

Выводы

Полученные зависимости силы нажатия от времени можно использовать при моделировании пневматических торможений поездов различной длины, в том числе соединенных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анисимов, В. В. Расчет длины тормозного пути с использованием аппроксимирующих полиномов / В. В. Анисимов // Инновационные технологии в автоматике, информатике и телекоммуникациях : сб. науч. тр. / Дальневост. гос. ун-т путей сообщ. – Хабаровск, 2013. – С. 13–17.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

2. Блохин, Е. П. Вычислительный комплекс для решения задач безопасности и устойчивости движения подвижного состава железных дорог / Е. П. Блохин, К. И. Железнов, Л. В. Урсуляк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 18. – С. 106–114.
3. Блохин, Е. П. Динамика поезда / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин. – Москва : Транспорт, 1982. – 222 с.
4. Блохин, Е. П. Продольные нагрузки при переходных режимах движения поезда / Е. П. Блохин // Залізн. трансп. України. – 2000. – № 3. – С. 8–11.
5. Гребенюк, П. Т. Динамика торможения грузовых поездов / П. Т. Гребенюк // Вестн. ВНИИЖТа. – 2002. – № 1. – С. 23–27.
6. Никифоров, Б. Д. Автоматизация управления торможением поездов / Б. Д. Никифоров, В. И. Головкин, Ю. Г. Кутыев. – Москва : Транспорт, 1985. – 263 с.
7. О вождении длинносоставных поездов / Е. П. Блохин, Л. В. Урсуляк, К. И. Железнов, Я. Н. Романюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 30. – С. 48–55.
8. Расчеты и испытания тяжеловесных поездов / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, Е. Л. Стамблер [и др.]. – Москва : Транспорт, 1986. – 264 с.
9. About the evaluation of the longitudinal forces level effecting the track displacement at transient modes of train movement / V. L. Horobets, L. H. Masleieva, L. V. Ursuliak, V. V. Arsonov // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 2 (56). – С. 207–221. doi: 10.15802/stp2015/42179.
10. Andersson, E. Rail Vehicle Dynamics : Text Book / E. Andersson, M. Berg, S. Stichel. – Stockholm : Royal Institute of Technology, 2005. – 168 p.
11. Effect of Structural Dynamics on the Shaft Line Rotor Response in Turbomachines / E. Meli, G. Pallini, A. Rindi [et al.] // Vibration Engineering and Technology of Machinery. Series: Mechanisms and Machine Science. – 2015. – Vol. 23. – P. 987–997. doi: 10.1007/978-3-319-09918-7_87.
12. Lingaitis, L. P. Research on selection of modes of driving heavy trains on main IXB and IXD corridors of JSC «Lietuvos geležinkeliai» / L. P. Lingaitis, S. Dailydka, G. Jevdomacha // Transport problems. Problemy transportu. – 2012. – Vol. 7. – Iss. 4. – P. 39–47.
13. Methods of calculation line optimum travel of trains with consideration of longitudinal dynamic efforts / L. P. Lingaitis, G. Vaičiūnas, L. Liudvinaičius, G. Jevdomacha // Transport problems. Problemy transportu. – 2013. – Vol. 8. – Iss. 2. – P. 25–34.
14. Muller, L. Train—a Computer Model for the Simulation of Longitudinal Dynamics in Trains / L. Muller, T. Witt // Conference on Railway Engineering. – Rockhampton : Institution of Engineers, 1998. – P. 181–186.

Л. В. УРСУЛЯК^{1*}, Г. ВАЙЧУНАС², Я. М. РОМАНЮК³, В. ПЕТРЕНКО⁴,
К. С. СТЕПЧЕНКОВА⁵

^{1*}Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 776 72 44, ел. пошта lyudmila.urs@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5957-6926

²Каф. «Залізничний транспорт», Вільнюський технічний університет імені Гедимінаса, вул. Й. Басанавічуса, 28, Вільнюс, Литва, LT-03224, тел. +37 (052) 74 48 03, ел. пошта gediminas.vaiciunas@vgtu.lt

³Проектно-конструкторське технологічне бюро автоматизованих систем управління залізничного транспорту, пров. Січовий, 4, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 739 51 32, ел. пошта romyana81@gmail.com, ORCID 0000-0001-6405-2780

⁴Каф. «Залізничний транспорт», Вільнюський технічний університет імені Гедимінаса, вул. Й. Басанавічуса, 28, Вільнюс, Литва, LT-03224, тел. +37 (052) 74 48 03, ел. пошта viaceslav.petrenko@vgtu.lt

⁵Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 776 72 44, ел. пошта thisday@ukr.net, ORCID 0000-0003-1641-8455

ПРО ФОРМУ КРИВОЇ НАПОВНЕННЯ ГАЛЬМІВНИХ ЦИЛІНДРІВ У ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДАХ

Мета. У рамках наукової роботи необхідно вивчити вплив форми кривої наповнення гальмівних циліндрів при різних режимах гальмування на поздовжню динаміку поїзду. При цьому обов'язково потрібно оцінити рівень найбільших поздовжніх сил та величину гальмівних шляхів у вантажних поїздах різної

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

довжини. **Методика.** В даній роботі зроблена спроба апроксимувати реальні діаграми наповнення гальмівних циліндрів раціональними функціями різного ступеня. При визначенні коефіцієнтів у цих функціях в якості контрольованих параметрів використовувалися найбільші значення поздовжніх сил і гальмівні шляхи, які порівнювалися з аналогічними величинами, отриманими в результаті експериментальних поїздок. Рівень поздовжніх сил та величину гальмівних шляхів оцінювали за допомогою математичного моделювання поздовжніх коливань поїзда при перехідних режимах руху, викликаних різними режимами гальмування. **Результати.** При математичному моделюванні передбачалося, що поїзд складається з 60-ти однорідних чотирьохвісних піввагонів масою 80 тонн, обладнаних повітродозподільниками № 483 (включеними на середній режим роботи), композиційними гальмівними колодками, і одного локомотива ВЛ-8. Поїзд перед початком гальмування був попередньо розтягнутий. Моделювалися різні види пневматичних гальм (екстрене, повне службове та регульоване гальмування) вантажного поїзда на горизонтальній ділянці шляху. В результаті розрахунків були отримані значення поздовжніх сил, величини гальмівних шляхів та час зниження швидкості руху при розглянутих режимах гальмування. **Наукова новизна.** Досліджено вплив форми кривої наповнення гальмівних циліндрів на рівень поздовжніх сил та величину гальмівних шляхів у вантажних поїздах. Досліджена також поздовжня навантаженість вантажних поїздів при пневматичних гальмуваннях. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані для оцінки рівня найбільших поздовжніх сил та гальмівних шляхів у вантажних поїздах різної довжини шляхом математичного моделювання різних режимів гальмувань.

Ключові слова: математичне моделювання; перехідні режими; рух поїзда; пневматичне гальмування; поздовжні сили; гальмівні шляхи

L. V. URSULIAK^{1*}, G. VAICIUNAS², YA. M. ROMANIUK³, V. PETRENKO⁴,
K. S. STEPCHENKOVA⁵

^{1*}Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 776 72 44, e-mail lyudmila.urs@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5957-6926

²Dep. «Railway Transport», Vilnius Gediminas Technical University, Y. Basanavichyus St., 28, Vilnius, Lithuania, LT-03224, tel. +37 (052) 74 48 03, e-mail gediminas.vaiciunas@vgtu.lt

³Design and production engineering consultancy of automated systems at rail transport management, Sichovyi Lane, 4, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 776 72 44, e-mail romyana81@gmail.com, ORCID 0000-0001-6405-2780

⁴Dep. «Railway Transport», Vilnius Gediminas Technical University, Y. Basanavichyus St., 28, Vilnius, Lithuania, LT-03224, tel +37 (052) 74 48 03, e-mail viaceslav.petrenko@vgtu.lt

⁵Dep. «Computer and Information Technologies», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 776 72 44, e-mail thisday@ukr.net, ORCID 0000-0003-1641-8455

ABOUT WAVEFORM OF BRAKING CYLINDER FILLING IN FREIGHT CARS

Purpose. As part of the scientific paper it is necessary to study the waveform impact of the braking cylinders filling on longitudinal train dynamics at different modes of braking. At this one should estimate the level of maximum longitudinal forces and braking distance size in freight cars of various lengths. **Methodology.** In this paper we attempt to approximate the actual diagram of braking cylinders filling with rational functions of varying degrees. In selection of coefficients in the required functions the highest values of the longitudinal forces and braking distances were used as controlled parameters. They were compared with similar values obtained as a result of experimental rides. The level of longitudinal forces and braking distances amount were evaluated by means of mathematical modeling of train longitudinal vibrations, caused by different braking modes. **Findings.** At mathematical modeling was assumed that the train consists of 60 uniform four-axle gondola cars, weight of 80 tons, equipped with air dispenser No. 483 included in the median operation, composite braking blocks, and one locomotive VL-8. Train before braking has been pre-stretched. Various types of pneumatic braking (emergency, full service and adjusting braking) of the freight train on the horizontal section of the track were simulated. As the calculation results were obtained values of the longitudinal forces, braking distances amounts and reduction time in speed at various braking modes.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Originality. Waveform impact of the braking cylinders filling on the longitudinal forces level and braking distances amount in freight trains were investigated. Also the longitudinal loading of freight trains at various pneumatic braking was investigated. **Practical value.** Obtained results can be used to assess the level of largest longitudinal forces and braking distances in the freight trains of different lengths by mathematical modeling of different braking modes.

Keywords: mathematical modeling; transient modes; train motion; pneumatic braking; longitudinal forces; braking distances

REFERENCES

1. Anisimov V.V. Raschet dliny tormoznogo puti s ispolzovaniyem approksimiruyushchikh polinomov [Length calculation of the braking distance using the approximating polynomials]. *Innovatsionnyye tekhnologii v avtomatike, informatike i telekommunikatsiyakh* [Innovative technologies in automation, informatics and telecommunications]. Khabarovsk, 2013. pp. 13-17.
2. Blokhin Ye.P., Zheleznov K.I., Ursuliak L.V. Vychislitelnyy kompleks dlya resheniya zadach bezopasnosti i ustoychivosti dvizheniya podvizhnogo sostava zheleznykh dorog [Computing system for solving problems of security and stability of railway rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 106-114.
3. Blokhin Ye.P., Manashkin L.A. *Dinamika poyezda* [Train dynamics]. Moscow, Transport Publ., 1982. 222 p.
4. Blokhin Ye.P. Prodolnyye nagruzki pri perekhodnykh rezhimakh dvizheniya poyezda [Longitudinal loads at transient modes of the train motion]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2000, no. 3, pp. 8-11.
5. Grebenyuk P.T. Dinamika tormozheniya gruzovykh poyezdov [Brake dynamics of freight cars]. *Vestnik VNIIZhTa – Bulletin of ARSRIT*, 2002, no. 1, pp. 23-27.
6. Nikiforov B.D., Golovkin V.I., Kutsev Yu.G. *Avtomatizatsiya upravleniya tormozheniyem poyezdov* [Control automation of train braking]. Moscow, Transport Publ., 1985. 263 p.
7. Blokhin Ye.P., Ursulyak L.V., Zheleznov K.I., Romanyuk Ya.N. O vozhdenii dlinnosostavnykh poyezdov [About driving of long compound trains]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 30, pp. 48-55.
8. Blokhin Ye.P., Manashkin L.A., Stambler Ye.L. *Raschety i ispytaniya tyazhelovesnykh poyezdov* [Calculations and tests of heavy trains]. Moscow, Transport Publ., 1986. 264 p.
9. Horobets V.L., Masleieva L.H., Ursuliak L.V., Arsonov V.V. About the evaluation of the longitudinal forces level effecting the track displacement at transient modes of train movement. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 2 (56), pp. 207-221. doi: 10.15802/stp2015/42179.
10. Andersson E., Berg M., Stichel S. Rail Vehicle Dynamics. Stockholm, Royal Institute of Technology Publ., 2005. 168 p.
11. E. Meli, G. Pallini, A. Rindi, F. Capanni, S. Rossin. Effect of Structural Dynamics on the Shaft Line Rotor Response in Turbomachines. *Vibration Engineering and Technology of Machinery. Series: Mechanisms and Machine Science*, 2015, vol. 23, pp. 987-997. doi: 10.1007/978-3-319-09918-7_87.
12. Lingaitis L.P., Dailyska S., Jevdomacha G. Research on selection of modes of driving heavy trains on main IXB and IXD corridors of JSC «Lietuvos geležinkiai». *Transport problems. Problemy transportu*, 2012, vol. 7, issue 4, pp. 39-47.
13. Lingaitis L.P., Vaičiūnas G., Liudvinavičius L., Jevdomacha G. Methods of calculation line optimum travel of trains with consideration of longitudinal dynamic efforts. *Transport problems. Problemy transportu*, 2013, vol. 8, issue 2, pp. 25-34.
14. Muller L., Witt T. Train—a Computer Model for the Simulation of Longitudinal Dynamics in Trains. Conference on Railway Engineering. Rockhampton, Institution of Engineers Publ., 1998, pp. 181-186.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. И. Гаврилюком (Украина); к.т.н., Н. Е. Науменко (Украина)

Поступила в редколлегию 07.12.2015

Принята к печати 14.03.2016

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 691.3:625.142.42

В. В. КОВАЛЕНКО^{1*}, Ю. Л. ЗАЯЦЬ^{2*}, П. О. ПШІНЬКО^{3*}, С. В. КОВАЛЕНКО⁴

^{1*}Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 489 07 72, ел. пошта kovalekovv@upr.dp.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 mostproekt@yandex.ua, ORCID 0000-0003-4187-5340

⁴ПП «Логія», вул. Червона, 19-А, Дніпропетровськ, Україна, 49000, тел. + 38 (050) 34 00 716, ел. пошта logiya@ukr.net

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ В БЕТОНАХ ПІДРЕЙКОВИХ ОСНОВ

Мета. Робота передбачає виявлення залежності структурних та механічних властивостей бетону від складу застосованих добавок-модифікаторів, характеру змін структурних та механічних властивостей в залежності від строку твердіння бетону контрольних і модифікованих зразків. **Методика.** Застосовані мікроструктурний, фрактографічний, мікрорентгеноспектральний аналізи та фізико-механічні випробування дозволили виявити необхідні залежності. **Результати.** Мікроструктура цементного каменю при рівних умовах підбору бетонних сумішей залежить від складу застосованих сировинних матеріалів та технології виробництва. В роботі досліджуються структурні перебудови під час тужавіння бетонів на жорстких сумішах та вплив складових частин комплексної добавки-модифікатора ПЛКП (виробництва ПП «Логія», м. Дніпропетровськ) на морфологію, дисперсність та хімічний склад цементного каменю. Визначається також механічні характеристики бетону для підрейкових основ. Дослідження структурних та фізико-механічних характеристик контрольних зразків та модифікованих бетонів на різних стадіях тужавіння показали, що застосування гіперпластифікаторів ПЛКП українського виробництва сприяє формуванню наноструктурованого бетону. Додавання у склад добавки на основі суперпластифікаторів прискорювачів твердіння сприяє зменшенню діаметру пучків ниткоподібних кристалів, що збільшує структурну однорідність, стабільність та підвищує комплекс механічних характеристик бетону. Застосування нових полікарбоксилатних добавок ПЛКП у виробництві бетонних сумішей для підрейкових основ дозволяє виключити пропарювання з технології виробництва підрейкових основ. Відсутність сольової складової у добавці сприяє підвищенню довговічності бетону. **Наукова новизна.** В роботі виявлено, що модифікація бетону комплексною добавкою ПЛКП сприяє формуванню найбільш однорідної структури цементного каменю, яка складається з компактних кристалів, оточених ниткоподібними кристалами, які щільно переплетені в поровому просторі. Така структура сприяє максимальним характеристикам міцності бетону при стисненні. При цьому пропарювання за традиційною технологією сприяє збільшенню розмірів первинних етрингітних кристалів, що мають схильність до реструктуризації у процесі експлуатації залізобетонних виробів при температурах близько 20° С. **Практична значимість.** Регулювання технологічних параметрів виробництва підрейкових основ, а саме – зниження температури пропарювання, або вилучення цієї операції із технологічного циклу виготовлення залізобетонних шпал, при використанні добавки ПЛКП дозволяє підвищити структурну однорідність і стабільність, збільшити щільність бетону та в результаті позитивно впливати на його довговічність.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Ключові слова: бетон; мікроструктура цементного каменю; ниткоподібні кристали; строки тужавіння; пропарювання; пластифікатор бетонної суміші; прискорювач тужавіння; підрейкові основи

Вступ

Сучасний стан залізобетонних підрейкових основ в Україні потребує не тільки регулярного оновлення для попередження обмежень у швидкісному режимі потягів, але і має необхідність в реконструкції для впровадження швидкісного руху подібно залізничним транспортним мережам розвинутих країн світу. Для впровадження швидкісного руху наша держава має всі переваги: великий науковий та промисловий потенціали, багаті родовища якісного граніту, річкового та кварцового піску, велику кількість цементних заводів, має сировинну базу для виробництва якісних вітчизняних модифікаторів цементного каменю в бетонах та розвинуту металургійну промисловість. Але застаріла технологія виробництва, відсутність належного контролю за відповідністю показників якості сировинних матеріалів створює іноді проблеми з довговічністю виготовлених в Україні залізобетонних підрейкових основ. Так, за статистичними даними, більше ніж 50 відсотків аварій та сходів вантажних вагонів на перегонах мережі залізниць України пов'язано із станом колійного господарства.

Залізобетонні шпали та безбаластне мостове полотно є найбільш відповідальними за безпечну експлуатацію залізничних колій і безпечний рух поїздів. В умовах їх експлуатації поєднуються значні динамічні навантаження з агресивним впливом оточуючого середовища. Тому, наряду з виключенням причин утворення макроконцентраторів напруження в бетоні підрейкових основ, необхідно збільшувати структурну однорідність як цементного каменю, так і композиційного матеріалу – бетону в цілому, що знижує вірогідність виникнення тріщин, а також попереджує структурні перебудови цементного каменю в процесі експлуатації [2–3, 5, 10, 18–20].

Мета

Дослідження структуроутворення в бетонах з використанням вітчизняних комплексних добавок ПЛКП для виробництва залізобетонних підрейкових основ та виявлення впливу без-

пропарювальної технології на формування цементного каменю та його схильності до рекристалізації в процесі експлуатації.

Об'єктом дослідження були бетони на основі жорстких сумішей на різних стадіях тужавіння, які модифіковані вітчизняною добавкою ПЛКП виробництва ПП «Логія», м. Дніпропетровськ.

Методика

В роботі застосовано макро- та мікроскопічні, фрактографічні та мікрорентгеноспектральні методи дослідження структури цементного каменю та фізико-механічні випробування бетону на різних стадіях тужавіння.

Дослідження в області розробки безпропарювальної технології виробництва бетону для залізничних шпал виконували багато вчених, у тому числі вченими харківської наукової школи [4, 13–14, 16–17]. Основним завданням було підвищення довговічності та надійності бетонних конструкцій шляхом введення 1 % від маси цементу хлориду кальцію та добавки С-3 [4, 13–14, 16]. Застосування хлоридів в добавці дозволяє прискорити процеси твердіння, але при цьому неможливо виключати процеси реструктуризації цементного каменю в процесі експлуатації виробів, які швидко, протягом 1–5 років, руйнують бетон [18].

Іншим альтернативним шляхом є застосування нової технології, яка забезпечує високі фізико-механічні характеристики бетону та водночас попереджує руйнівні процеси як на поверхні, так із середини бетону. Подібні характеристики можна досягнути підвищенням структурної однорідності та дисперсності кристалів цементного каменю за рахунок їх модифікації, зменшуючи капілярну і збільшуючи гелеву пористість. При цьому потрібно виключати можливість введення в бетон сировинних матеріалів, що мають здатність вступати в процесі експлуатації виробів у відносно швидкоплинні хімічні реакції, які створюють нові фазові складові з питомими об'ємними характеристиками такими, що відрізняються від рекристалізованих фаз. Крім того, важливо здійснювати суворий контроль за дотриманням вимог державних

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

стандартів, у тому числі за якістю фракційного розсіву крупних заповнювачів та виключенням із сировинних матеріалів щебеню з кристалами слюди або кальциту, які перевищують розмір граней щебеню, для забезпечення адгезії до цементного каменю [2–3, 5, 18]. Для дрібних заповнювачів, які застосовуються для виробництва шпал в Україні, крім вмісту реакційноспроможного компоненту, необхідно суворо контролювати вміст вапняку та глиноземних грудок, які є концентраторами напруги під час експлуатації підрейкових основ [5].

Таким чином, при виключенні всіх можливих випадків формування структурних макро-неоднорідностей, необхідно забезпечення мікроструктурної однорідності цементного каменю, як найслабшої ланки в композитному складі бетону. Зазначена мета досягається багатьма методами: диспергуванням та модифікацією цементного каменю, зменшенням долі цементу в бетонній суміші, зменшенням застосованої води затворювання за рахунок пластифікуючих добавок. У свою чергу, зменшення долі цементу здійснюється за рахунок або збільшення долі крупних або дрібних заповнювачів, або заміщенням долі піску гранітним відсівом, або застосуванням мінеральних добавок. Подібні прийоми підвищення фізико-механічних властивостей бетону по одному або в комплексі застосовувалися багатьма авторами та сприяли збільшенню довголіття та експлуатаційних якостей бетону [2–5, 12–13, 15–16]. Але необхідні високі фізико-механічні характеристики і довговічність бетону досі актуальні для важко навантажених залізобетонних виробів – підрейкових основ, які працюють в агресивному середовищі при знакоперемінних циклічних навантаженнях та температурах.

Для впровадження нових технологічних розробок в галузі виробництва бетону підрейкових основ необхідно ретельно дослідити можливі ризики впливу добавок на корозійну стійкість арматури і бетону, вивчити вплив значного зниження температури робочої зони пропарювальних установок на структурні та фізико-механічні характеристики бетону.

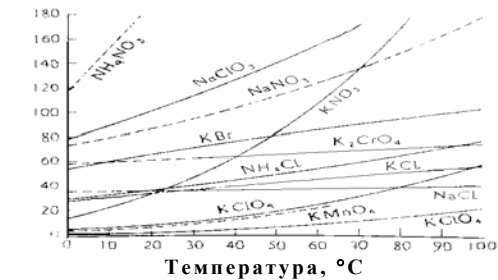
Отже, в процесі виконання роботи були поставлені такі завдання:

– виявлення впливу хімічних добавок і зміни масових співвідношень сировинних компонентів на структурні і фізико-механічні характеристики бетону;

– виявлення впливу значного зниження температури робочої зони пропарювальних установок на структурні і фізико-механічні характеристики бетону.

З літературних даних з'ясовано, що електроліти на базі сульфатних та роданистих комплексів з додаванням нітратів – складові сольового комплексу хімічної добавки ПЛКП, що прискорюють твердіння, мають або найбільш високу розчинність у воді, як у випадку нітратних складових (рис. 1, а), або значно обмежені температурою розчину, як у випадку сульфатних складових (рис. 1, б).

а–а



б–б

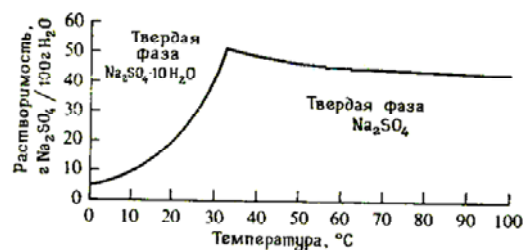


Рис. 1. Розчинність в воді компонентів комплексної добавки ПЛКП, що прискорюють процес тузавіння бетону [15]

Fig. 1. Solubility in water of PLKP complex additives components that accelerate the process of concrete hardening [15]

Якщо однокомпонентні добавки, що містять нітрати, заборонені чинними раніше стандартами до застосування у виробництві попередньо напружених конструкцій залізобетонних основ, то у комплексі з пластифікаторами різного роду, які є інгібіторами корозії металу арматури, при значному зменшенні їх концентрації в складі багатокомпонентної хімічної добавки в бетонному розчині, їх застосування

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

теоретично та технологічно виправдано. Розчинність нитратів в діапазоні температур від 0 до 100 °С досить велика, що сприяє стабільності властивостей будь-якої комплексної добавки, у склад якої вони введені. Та, навпаки, з огляду на залежність розчинності сульфатів у воді залежно від температури (див. рис. 1, б), можна зауважити, що оптимальною температурою дії добавки з сульфатами є температура 33–50 °С.

Але цього не можна сказати про добавки, що містять хлор. Тому що хлор є каталізатором процесів реструктуризації цементного каменю, та при найменших його концентраціях він сприяє передстроковому руйнуванню бетону, який працює в умовах зміни сезонних температур при підвищеній вологості повітря або під атмосферними опадами [18], та його застосування заборонено згідно з ДСТУ Б В.2.6-145:2010 [8]. Хлорвмістне середовище застосовується для прискорених методів оцінки морозостійкості бетонів [6] та для антибактеріального захисту бетонних споруд [12].

Одним з найважливіших сировинних матеріалів виробництва шпал є цемент. Від відповідності його характеристик нормам стандарту ДСТУ Б.В 2.7-46:2010 [7] залежать структуроутворення під час взаємодії з комплексною добавкою цементного каменю, фізико-механічні характеристики та довговічність залізобетонних виробів. При підвищеній лужності цементу (відносний коефіцієнт лужності ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{ K}_2\text{O}$) більший за 0,6 % [7, 8, 18]) в процесі гідратації та під час експлуатації підрейкових основ відбувається реакція хімічної взаємодії луг цементу з кислотами заповнювачами, які за стандартами не повинні містити більше ніж 50 ммоль/л діоксиду кремнію розчинного в лугах [8, 9].

За державним стандартом [8] в портландцементі співвідношення за масою кальцій оксиду до силіцій діоксиду повинно становити не менше ніж 2,0, а масова частка магній оксиду не повинна перевищувати 5 %, вміст сірки у перерахунку на SO_3 не повинен перевищувати 3,5 %, але бути більше ніж 1 % (мас.), глини не більше 1,2 % (мас.), вміст хлорид-іонів не повинен перевищувати 0,1 % (мас.). Трикальцієвий алюмінат у складі цементу не повинен перевищувати 8 % за масою [8].

Якість цементу Амвросіївського заводу ПЦ І-500 для виробництва залізобетонних шпал перевіряли за фракційним, хімічним складом та активністю. За сертифікатом якості цемент відповідає вказаному стандарту. Перевірка активності цементу виявила відповідність марці портландцементу М400. Оцінка фракційного складу показала, що об'ємний відсоток часток, що більше 80 мкм складає до 6 % (рис. 2), що не перевищує 15 % визначених стандартом [8]. За результатами мікрорентгеноспектрального аналізу, в переважній більшості спектрів вміст алюмінатної фази у перерахунок на окисли Al_2O_3 дорівнює 8,96 % (рис. 3–4).

Вміст алюмінатної фази складає 5–10 % для більшості нормальних цементних клінкерів. Фаза представлена трикальцієвим алюмінатом $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$, істотно зміненним за складом, а іноді і за структурою, за рахунок сторонніх іонів, особливо Si^{4+} , Fe^{3+} , Na^+ і K^+ [1], але згідно з ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [7], вміст цієї фази в цементах, які застосовуються у виробництві залізобетонних шпал, не повинен перевищувати 8 %. В нашому випадку кількість вказаної алюмінатної фази складає в середньому 8,96 % (мас.). Алюмінатна фаза швидко реагує з водою і може викликати небажане швидке схоплювання, якщо не доданий контролюючий схоплювання агент [11]. Крім того, ця фаза є швидкокорозійною в лугах і кислотах та за структурними характеристиками гідрооксидів є структурно нестабільною. В процесі експлуатації крупні кристали етрингітної фази, яка містить алюміній та сірку, розпадаються на дрібні. В процесі перебудови гідрат-іони переміщуються з утворенням нової фази з новими параметрами кристалічної решітки та втратою структурних зв'язків всередині бетону. З урахуванням наявності хлор-іонів у більшості досліджуваних часток цементу (причому у двох з дев'яти конгломератних часток концентрація хлору перевищує допустимі норми за державним стандартом [8] в 1,9–2,7 разів), реакції реструктуризації фазових складових цементного каменю при 20 °С в процесі експлуатації виробів проходять з прискоренням після насичення водою бетону при коливанні температури близько 0 °С. При цьому хлор виступає як каталізатор реструктуризаційних процесів [18]. В процесі тужавіння бетону (прискореного

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

впродовж 8 діб або подальшого тужавіння) змінюється водневий показник гелевої частини міжкристалічного розчину, який містить розчинний гідроокис кальцію, при цьому змінюється здатність хлорвмістної фази, що реагує з сульфат-іонами, зберігати власну стабільність і призводить до її розкладу. Середня кількість хлору не перевищує допустимі значення стандарту та складає 0,08 % (мас.).

Вміст магнію в цементі відповідає нормам державного стандарту. Приведена лужність цементу перевищує 0,6 % та складає 0,84 %, що не попереджає виникнення лужнокремнієвокислої реакції в процесі експлуатації залізобетонних виробів [18]. При аналізі приведеної лужності не використовували результати аналізу спектру 4 на рис. 4, тому що вони різко відмінні від спектрів інших часток цементу і є аморфною скловидною фазою з великим містом окислів кремнію, алюмінію та натрію, яка значно відрізняється за морфологічними ознаками від інших часток (наявністю округлих форм).

Вміст сірки лише в одному з конгломератів клінкерних часток перевищує норматив стандарту на 1 масовий відсоток, при тому середній вміст сірки за розрахунком на SO_3 складає 1,9 % (мас.).

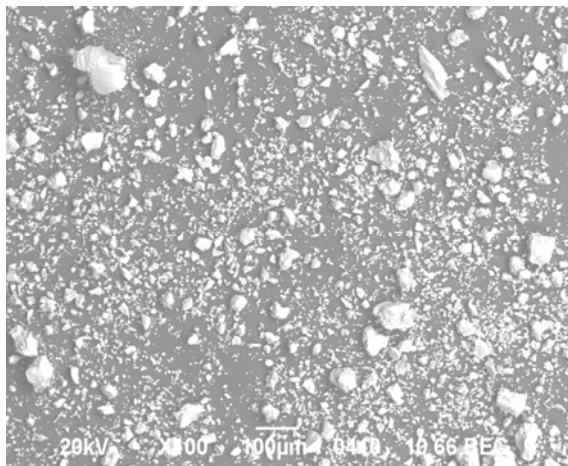
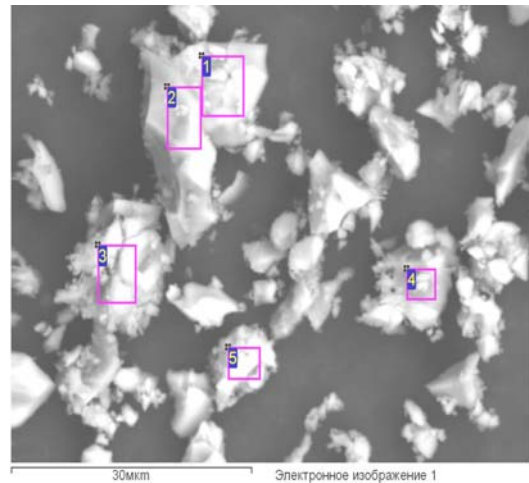


Рис. 2. Вигляд цементу Амвросіївського заводу, $\times 100$

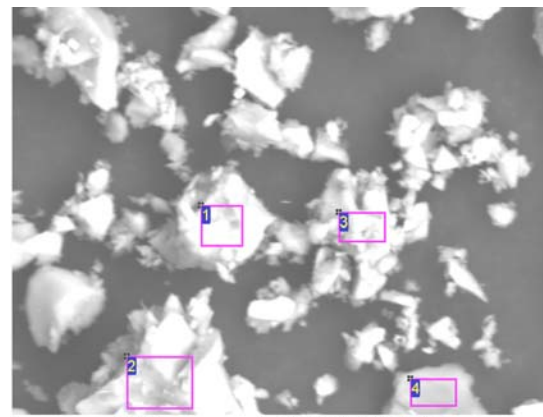
Fig. 2. View of Amvrosiivskyi cement plant, $\times 100$



| Спектр % мас. | O | Na | Mg | Al | Si | S | Cl | K | Ca | Ti | Fe |
|------------------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|------|-------|
| 1 | 35,15 | 0,02 | 0,24 | 1,12 | 10,67 | 1,06 | 0,19 | 0,44 | 48,67 | 0,32 | 2,12 |
| 2 | 47,23 | 0,28 | 0,41 | 0,44 | 10,75 | 0,25 | 0 | 0,13 | 39,97 | 0,03 | 0,59 |
| 3 | 48,98 | 0,27 | 0,18 | 0,93 | 1,21 | 0,92 | 0,27 | 0,18 | 46,06 | 0 | 1,07 |
| 4 | 52,22 | 0,11 | 0,28 | 0,76 | 8,29 | 1,79 | 0,01 | 0,25 | 35,32 | 0 | 0,98 |
| 5 | 40,65 | 0,34 | 1,06 | 10,53 | 2,52 | 0,33 | 0,08 | 0,4 | 30,03 | 0,46 | 13,59 |

Рис. 3. Мікроструктура та хімічний склад часток цементу ПЦ І-500, % (мас.).

Fig. 3. The microstructure and chemical composition of cement particles PTS I-500% (wt.).



| Спектр % мас. | O | Na | Mg | Al | Si | S | Cl | K | Ca | Ti | Fe |
|------------------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|------|-------|
| 1 | 31,18 | 0,13 | 1,01 | 8,77 | 3,19 | 0,67 | 0,09 | 0,46 | 37,24 | 0,52 | 16,76 |
| 2 | 42,8 | 0,3 | 0,2 | 7,75 | 6,36 | 0,5 | 0 | 0,18 | 36,95 | 0,22 | 4,79 |
| 3 | 48,67 | 0,02 | 0,28 | 0,79 | 9,48 | 1,12 | 0 | 0,36 | 38,07 | 0,16 | 1,05 |
| 4 | 49,6 | 6,84 | 0,06 | 11,52 | 27,43 | 0,22 | 0,08 | 0,11 | 3,76 | 0,11 | 0,28 |

Рис. 4. Мікроструктура та хімічний склад часток цементу ПЦ І-500, % (мас.).

Fig. 4. The microstructure and chemical composition of cement particles PTS I-500% (wt.).

З рис. 3–4 видно, що в одному з дев'яти конгломератів цементних часток кількість сірки у перерахунок на SO_3 перевищує норми стандарту [8] на 27,7 %.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Підсумовуючи усі вище перераховані недоліки хімічного складу цементу, при його гідратації можна очікувати утворення переважно крупних кристалів еtringітної фази, яка легко розчиняється у кислотах та лугах, крім того схильна до реструктуризаційних процесів при знакоперемінних температурах та підвищеній вологості, яка має невелику міцність і щільність та на порядок меншу довговічність в залізобетонних виробках підрейкових основ, ніж в аналогічних виробках із звичайного портландцементу. Такий цемент застосовується для швидкісного будівництва збірних залізобетонних конструкцій, які застосовуються для внутрішнього оздоблювання приміщень.

Морфологія і хімічний склад Здолбунівського цементу наведено на рис. 5 та табл. 1. Оцінка фракційного складу показала, що об'ємний відсоток часток, що більше 80 мкм, практично відсутній (рис. 5), що не перевищує 15 % визначених стандартом [8].

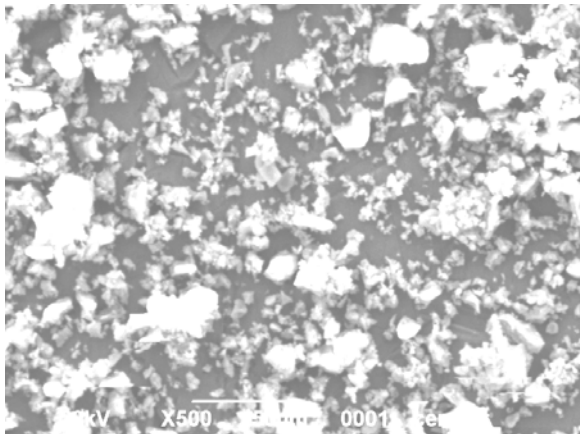


Рис. 5. Мікроструктура цементних часток цементу ПЦ I-500Н виробництва ПрАТ «Волинь-Цемент», $\times 500$

Fig. 5. Microstructure of cement particles of cement PTS I-500N, production of JSC «Volyn-Cement», $\times 500$

З рис. 5 видно, що частки цементу мають високу дисперсність (спостерігається лише один конгломерат у полі зору). Цемент має такий фракційний склад: фракція розмірами біля 30 мкм складає 10 %; 15 мкм – 10 %; 7 мкм – 30 %, та від 0-3 мкм – 50 %. Дрібний розмір фракцій цементу збільшує його реакційну спроможність та пришвидшує процес структуриування в бетонах.

Таблиця 1

Хімічний склад послідовно сканованих мікрообластей запресованого цементу ПЦ I-500Н виробництва ПрАТ «Волинь-Цемент»

Table 1

Chemical composition of sequentially scanned microareas of pressed cement PTS I-500N and production of PJSC «Volyn-Cement»

| Елемент | Масовий % | | | |
|---------|-----------|-------|-------|-------|
| O K | 40,97 | 34,95 | 41,24 | 34,76 |
| Na K | 0,40 | 0,44 | 0,40 | 0,43 |
| Mg K | 0,35 | 0,44 | 0,40 | 0,38 |
| Al K | 1,72 | 1,99 | 1,81 | 1,90 |
| Si K | 6,63 | 7,48 | 6,77 | 7,31 |
| S K | 1,90 | 2,17 | 1,96 | 2,11 |
| K K | 0,82 | 0,86 | 0,78 | 0,90 |
| Ca K | 44,44 | 48,44 | 43,74 | 49,13 |
| Ti K | 0,23 | 0,29 | 0,25 | 0,25 |
| Fe K | 2,54 | 2,94 | 2,65 | 2,82 |
| Всього | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Виконані в роботі дослідження показали відповідність цементу більшості показників нормованих діючими стандартами України.

Співвідношення оксидів кальцію та кремнію, наявність хлор-іонів, концентрація алюмінатів у перерахунку на оксид алюмінію (3,5%(мас)), а також фракційний склад цементу відповідають вимогам діючих стандартів.

Середній коефіцієнт приведеної лужності цементу ПЦ I-500Н становить 1,24 %, що більше ніж удвічі перевищує нормативний показник, визначений ДСТУ Б В.2.6-145:2010 [8]. Вірогідність виникнення лужно-кремнієвокислої реакції в процесі експлуатації залізобетонних виробів з досліджуемого цементу підвищеної лужності посилюється тому, що більшість родовищ річкового піску, застосованого у будівельному виробництві та виробництві спеціальних залізобетонних виробів в Україні, мають більше ніж 50 ммоль/л діоксиду кремнію розчинного в лугах.

Вміст оксиду сірки в цементі складає 5,07 % масових, що перевищує максимальний нормативний показник у 1,45 разу. Сірка входить

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

у склад великих еtringітних кристалів, які на основі щільної матриці рівноосних цементних кристалів знижують структурну однорідність та сприяють утворенню додаткової мікропористості, яка полегшує всмоктування вологи бетоном з атмосферного повітря.

Дослідження виконувалися також на цементі ПЦ І-500Н виробництва ПАТ «Хайдельбергцемент Україна», м. Дніпродзержинськ. Морфологію часток та хімічний склад цементу наведено на рис. 6–7.

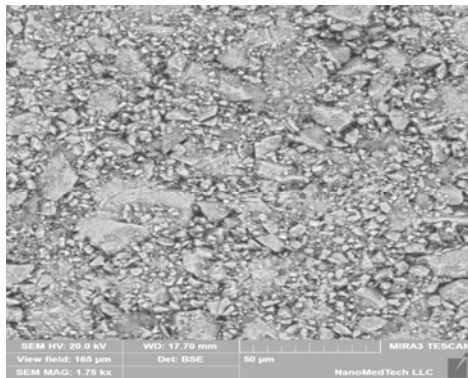
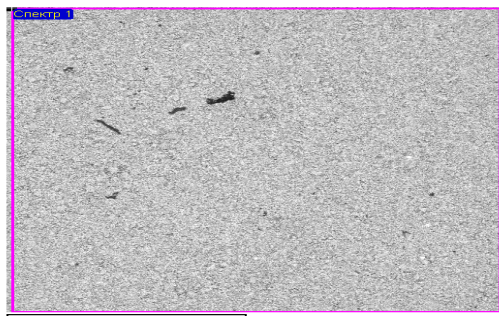


Рис. 6. Морфологія часток цементу ПЦ І-500 виробництва ПАТ «Хайдельбергцемент Україна», Дніпродзержинськ, $\times 1750$

Fig. 6. Cement PTS I-500N particles morphology in production of PJSC «Heidelbergcement Ukraine», Dniprodzerzhynsk, $\times 1750$



| Спектр, мас.%, | O | Na | Mg | Al | Si | S | K | Ca | Fe |
|----------------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Спектр 1 | 70.80 | 0.37 | 1.06 | 1.47 | 5.08 | 1.25 | 0.35 | 18.99 | 0.64 |

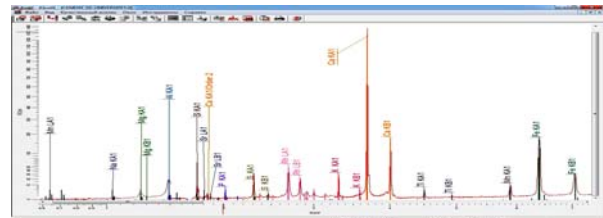
Рис. 7. Хімічний склад часток цементу ПЦ І-500 виробництва ПАТ «Хайдельбергцемент Україна», м. Дніпродзержинськ, % (мас.)

Fig. 7. The chemical composition of cement particles PTS I-500N, production of PJSC «Heidelbergcement Ukraine», Dniprodzerzhynsk, % (wt.)

Як видно з рис. 6–7, крупні фракції цементного порошку подані частками розміром близько 25 мкм, об'ємна частка яких сягає 10 %, ча-

стки розміром близько 10 мкм присутні в порошку в об'ємі 25 %. Хімічний аналіз зразку цементу показав, що приведений коефіцієнт лужності складає 0,57 %, що задовольняє вимогам попередження швидкоплинної лужнокремнієвокислої реакції в бетоні, що експлуатується.

Якісний та безстандартний кількісний аналіз цементу виконували за допомогою дифрактометру D2PHASER. Зразки без додаткової обробки поміщали в заглублення кювети з органічного скла. Рентгенограма знімалася з обертанням 20 об/хв з кроком 0,02 в інтервалі кутів 8–650 2θ з витримкою 1 с. Моделювання рентгенограми виконували за допомогою програми безстандартного кількісного аналізу TOPAS.



C3S 23.95%; C3S 31.61%; C2S_beta 16.60%; C3A_cubic 2.68%; C3A_orthorhombic 1.28%; C4AF 13.52%; Portlandite 1.34%; Periclase 0.25%; Quartz 0.21%; Arcanite 0.72%; Aphthitalite 1.25%; Bassanite 2.23 %; Calcite 4.36 %.

Рис. 8. Якісний та кількісний аналізи цементу ПАТ «Хайдельбергцемент Україна» за допомогою дифрактометру D2PHASER

Fig. 8. Qualitative and quantitative analysis of cement from PJSC «Heidelbergcement Ukraine» with a diffractometer D2PHASER

Як видно з рис. 8, якісний хімічний склад цементу є міцними мінералами C2S beta 16.60%; C3S (23.95% мас.) та C3S (31.61 % мас.), але формування хімії та морфології цементного каменю залежить від модифікуючого впливу хімічних добавок, які змінюють співвідношення в напрямку збільшення частки фаз з максимальною міцністю.

Структурування бездобавочних бетонів на ранніх стадіях тужавіння досліджували способом дегідратації зразків бетону зруйнованих на 3, 7, та 28 добу з аналізом структурних характеристик в комплексі з механічними властивостями. Формування структури цементного каменю зразка бетону без застосування добавок

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

на різних етапах тужавіння показало, що підвищений вміст алюмінатної фази в цементі провокує утворення великих кристалів еtringіту та зниження міцності бетону на 28 добу. Морфологія та хімічний склад фаз, що переважно утворюються в зразку, говорять про низьку щільність бетону, формування переважно водопроникненої капілярної пористості та мікропористості.

Вищесказане у комплексі з підвищеною приведеною лужністю цементу призведе в процесі експлуатації до передчасної руйнації бетону в агресивному середовищі із знакоперемінними навантаженнями та температурами навоколишнього середовища.

Розглянемо структурні та механічні характеристики бетонів залежно від застосованих комплексних модифікаторів на основі суперпластифікаторів та електrolіту.

Структурні характеристики бездобавочного бетону на початкових стадіях тужавіння переважно є блочними кристалами портландиту з невеликою кількістю цементного гелю, які формуються із значною кількістю капілярних пор (рис. 9).

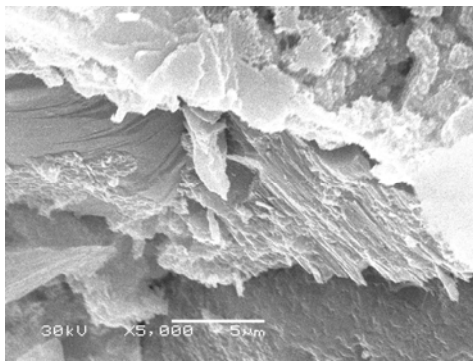


Рис. 9. Морфологія цементного каменю бездобавочного бетону на основі портландцементу марки ПЦ І 500Н (28 доба тужавіння), $\times 5000$

Fig. 9. The morphology of the cement stone without additional concrete based on Portland cement PTS I 500N (the 28th day of hardening), $\times 5000$

Додавання до бетонної суміші добавки на основі полінафталінсульфонатів значно збільшує в структурі частку пластинчастих кристалів. В об'ємному співвідношенні ця частка сягає 60–70 %, залишок наполовину формується з блочних кристалів портландиту та цементного гелю (рис. 10). Таке співвідношення структурних складових сприяє підвищенню кріхкості

бетону в напрямку площин утворених кристалів і, крім того, необхідно відмітити, що плоскі гідрокристаліти не мають максимальних характеристик міцності.

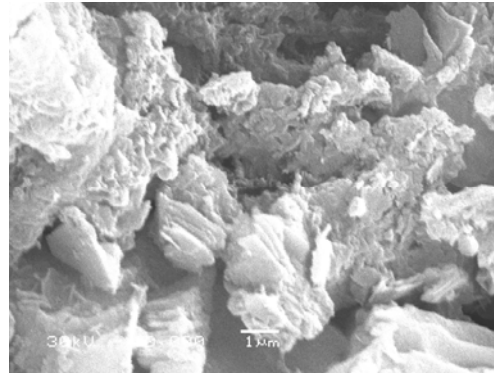


Рис. 10. Морфологія цементного каменю на основі портландцементу марки ПЦІ 500Н модифікованого полінафталінсульфонатною добавкою (28 доба тужавіння), $\times 10000$

Fig. 10. Morphology of cement stone of concrete based on Portland cement PTSI 500N of modified polynaphthalenesulfonate addition (the 28th day of hardening), $\times 10000$

Формування бетонної суміші з розріджувачами бетону на основі солей роданіду та тіосульфату натрію, пластифікатора на основі фрагментів полікар-боксилатних ланцюжків у сукупності з полінафталінсульфонатом дозволяє отримувати механічні характеристики порівнянні з такими, що утворилися в бетонах модифікованих полікарбоксилатом, але подібні комплекси не в змозі достатньо знизити водоцементне співвідношення. За рахунок цього структура сформована на основі вищезгаданого комплексу хоча і складається переважно з голкоподібних цементних кристалів діаметрами близько 50–100 нм, але має у складі плескати кристали зі зниженою міцністю, по площі яких можуть утворюватися руйнівні тріщини (рис. 11).

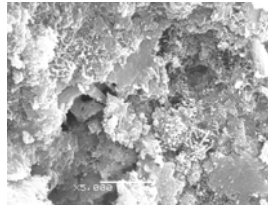
Морфологія структурних складових бетону підрейкових основ на цементі виробництва ПРАТ «Хайдельбергцемент Україна» та полікарбоксилатної добавки ПЛКП наведена на рис. 12.

Як видно з рис. 12, середній діаметр пучків ниткоподібних кристалів цементного каменю, сформованих на першу добу тужавіння в бетоні шпал на основі цементу ПЦ-500 Н виробництва

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

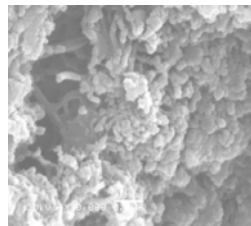
ПАТ «Хайдельбергцемент Україна», знаходиться у межах від 15 до 60 нм, причому переважна частка кристалів (до 90 % об'єм) має діаметр 45 нм.

a-a



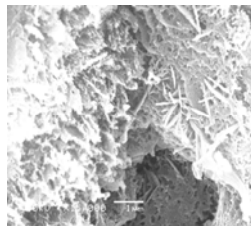
× 5000

б-б



× 30000

с-с



× 15000

Рис. 11. Морфологія структурних складових цементного каменю бетону модифікованого комплексом солей роданіду та тіосульфату натрію, пластифікатором на основі фрагментів полікарбоксилатних ланцюжків у сукупності

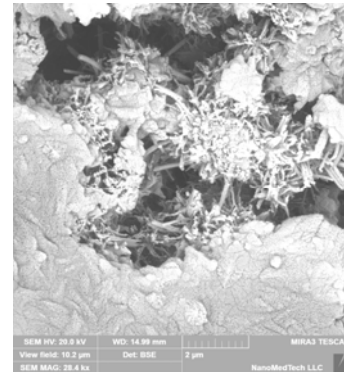
з полінафталінесульфоновим на 28 добу тужавіння:

a, б – склад добавки із збільшеною часткою суперпластифікаторів; *с* – склад добавки із збільшеною часткою солей

Fig. 11. Morphology of structural components of concrete cement stone modified with rhodanite nitrate and sodium thiocyanate complex, a plasticizer based on fragments of polycarboxylate chains together with polynaphthalenesulfonates after the 28th day of hardening:

a, b – the composition of additives with increased part of superplasticizers; *c* – the composition of additives with increased part of nitrate

a-a



б-б

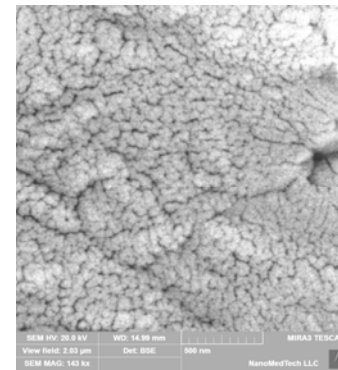


Рис. 12. Морфологія структурних складових цементного каменю бетону модифікованого комплексною добавкою на основі полікарбоксилатів ПЛКП -1 на 1 добу тужавіння:

a – формування кристалів цементного каменю з надлишком води з утворенням кольматованого порового простору, ×28400; *б* – пучки ниткоподібних кристалів в перерізі, ×143000

Fig. 12. Morphology structural components of concrete cement stone modified with complex additive based on polycarboxylates PLKP -1 for the 1st day of hardening:

a – crystals formation of cement stone with water excess with colmated pore space, ×28400; *б* – beams of fibrous crystals in section, ×143000

Хімічний склад цементного каменю бетону з добавкою ПЛКП-1 на першу добу тужавіння має задовільні характеристики за всіма показниками, а особливо за приведеною лужністю цементного каменю, яка складає 0,53 % (мас) (рис. 13).

При цьому в цементному камені відсутній хлор, що сприятиме підвищенню довговічності цементного каменю підрейкових основ.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

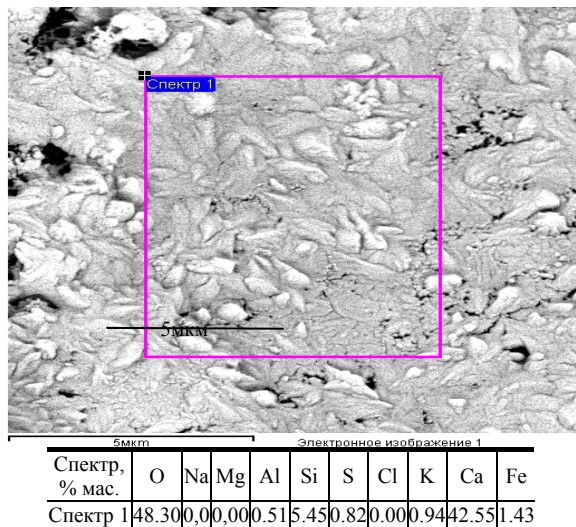


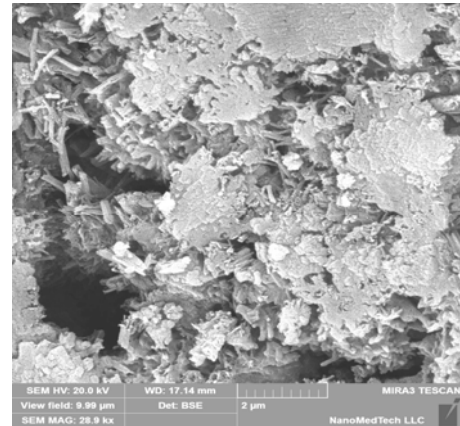
Рис. 13. Хімічний склад цементного каменю бетону з добавкою ПЛКП -1 на першу добу тужавіння

Fig. 13. The chemical composition of concrete cement stone with the addition PLKP – after the 1st day of hardening

Під час формування структури бетону з добавкою ПЛКП-1 на першу добу тужавіння при температурі 20 °С міцність на стиснення дорівнює 41,5 МПа (рис. 14, *а*), а на 28 добу тужавіння утворюється щільний бетон з ниткоподібних нанокристалів, які формують пучки загальними діаметрами до 118,44 нм (рис. 14, *б*). Нанокристали та їх пучки утворюють щільні сплетені масиви з гелевою пористістю. Така структура сприяє значному збільшенню не тільки характеристик міцності, морозостійкості, водонепроникності, а й краще працює при деформації на вигін. Деформація на вигін може виникати не тільки під час штатних режимів експлуатації, а й під час підбивання шпал на магістральних коліях.

Завдяки високій щільності бетону, яка дозволяє отримувати міцність на стискання на 28 добу 76 МПа, кольматовані пори концентрують навкруги себе усі елементи з невеликими діаметрами іонів, що протидіє вилугуванню бетону. Підвищена концентрація магнію поблизу невеликих кольматованих пор сприяє збільшенню локальних характеристик міцності структурних складових цементного каменю (рис. 15).

а–а



б–б

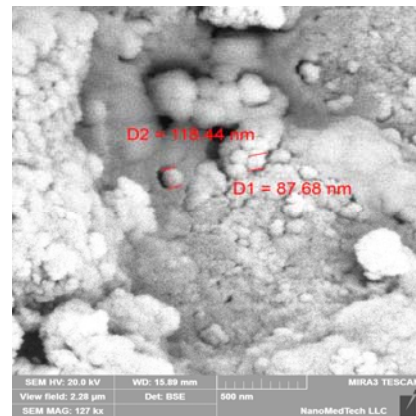


Рис. 14. Морфологія кристалів цементного каменю, модифікованого добавкою ПЛКП-1 на першу (*а*, $\times 28900$) та 28 (*б*, $\times 127000$) добу тужавіння

Fig. 14. Crystals morphology of cement stone, modified with the addition PLKP-1 after the first (*а*, $\times 28900$) and the 28th (*б*, $\times 127000$) days of hardening

Діаметри ниткоподібних кристалів, що кольматують пори, дорівнюють 52,0–63,5 нм (рис. 16).

Особливості структурних характеристик модифікованого цементного каменю підтверджуються механічними характеристиками. Так, наприклад, додавання до контрольного бездобавочного зразка бетону комплексу солей на основі роданіду натрію, тіосульфатів та сульфатів натрію сприяє витонченню голкоподібних кристалів, що підвищують міцність на стиск у ранні строки тужавіння на першу добу в 1,7 разу, на сьому добу – в 1,2 разу, а на 28 добу практично відсутня різниця міцності контрольного та зразка з добавкою сольового комплексу.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

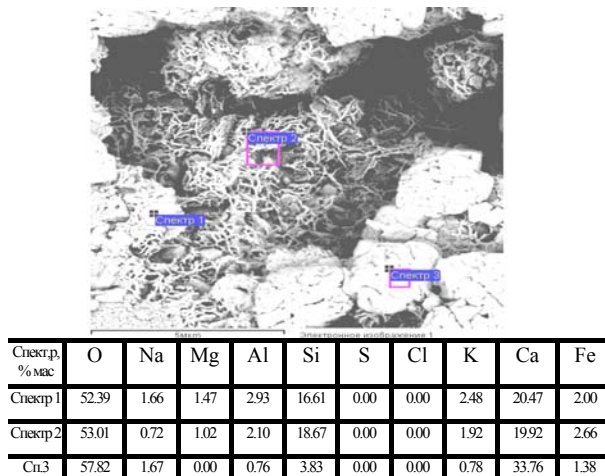


Рис. 15. Хімічний склад кристалів цементного каменю поблизу кольматованих пор в зразку бетону, модифікованого добавкою ПЛКП-1 на 28 добу тужавіння

Fig. 15. Chemical composition of crystals in cement stone near colmated pores in the concrete sample, modified with additive PLKP-1 after the 28th day of hardening

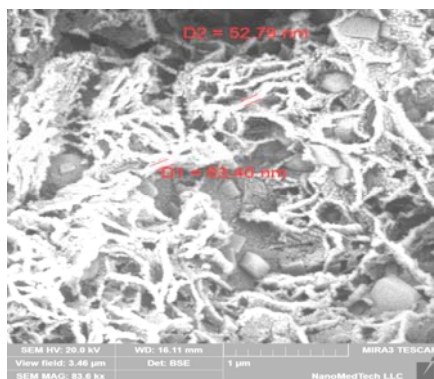


Рис. 16. Морфологія кристалів цементного каменю поблизу кольматованих пор в зразку бетону, модифікованого добавкою ПЛКП-1 на 28 добу тужавіння

Fig. 16. Crystals morphology of cement stone near colmated pores in the concrete sample, modified with PLKP-1 additive after the 28th day of hardening.

Додавання в бетонну суміш комплексів суперпластифікаторів та солей в бетонну суміш з вмістом Амвросіївського цементу 380 кг/м^3 бетону дозволило отримати міцність на 2 добу – 43,7 МПа, 3 добу – 53,7 МПа, на 7 добу – 61,3 МПа та 28 добу – 71,5 МПа.

При застосуванні в бетонній суміші для виготовлення шпал Здолбунівського цементу з комплексом гіперпластифікаторів виробництва ПП «Логія», м. Дніпропетровськ, дозволяє

отримати на першу добу тужавіння міцність на стиск 39 МПа, на 7 добу – 64,6 МПа та на 28 добу – 73,3 МПа. При цьому пропарювання за традиційними режимами при 60°C дозволяє отримати міцність на стиск 56,7 МПа.

Цемент Дніпродзержинського виробництва при концентрації 350 кг/м^3 бетону в бетонній суміші з модифікатором ПЛКП-1 Дніпропетровського виробника дозволяє отримати міцність на першу добу тужавіння 41,6 МПа, на третю добу – 61,9 МПа, сьому – 69,1 МПа та 28 добу – 76 МПа. Такі характеристики якості бетону задовольняють вимогам для підрейкових основ для швидкісного руху. Технологія виробництва дозволяє економити 150 кг цементу на м^3 бетону, економити газ та електричну енергію, які за традиційною технологією використовувалися у виробництві підрейкових основ. Крім того, завдяки новій технології виробництва підвищується структурна однорідність і стабільність, а також дисперсність цементного каменю, що попереджає структурні перетворення під час експлуатації підрейкових основ і їх передчасне руйнування.

Наукова новизна та практична значимість

Дослідження в цій роботі полягає в аналізі можливості застосування цементів різних виробників для виробництва підрейкових основ, аналізі впливу добавок на основі різних складових та обґрунтуванні необхідності застосування найбільш оптимальних в'язучих та добавок-модифікаторів для отримання найбільш високих фізико-механічних характеристик на 28 добу тужавіння та попередження структурних перетворень в процесі експлуатації залізобетонних виробів. Застосування нової технології виробництва бетону підрейкових основ дозволяє економити 150 кг цементу на м^3 бетону, економити газ та електричну енергію, що нині використовуються для пропарювання залізобетонних виробів.

Полягає у вперше отриманих результатах досліджень про вплив вітчизняних гіперпластифікаторів на структуроутворення та фізико-механічні характеристики бетонів на основі жорстких сумішей. Виявлення морфологічних особливостей цементного каменю на основі цементів різних вітчизняних виробників модифікованого вітчизняними комплексними добав-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

ками на основі різних хімічних комплексів дозволяє пояснити їх механізм впливу на експлуатаційні характеристики бетону.

Висновки

Підсумовуючи отримані результати досліджень можна зробити висновки:

1. Використання полікарбоксилатної добавки виробництва ПП «Логія», м. Дніпропетровськ, яка не містить сольового комплексу, дозволяє при нормальних умовах твердіння (20° С) отримувати розопалубочну міцність шпального бетону на першу добу тужавіння та більше 70 МПа на 28 добу твердіння з цементу близько 350 кг/м³ бетону. Добавка не знижує довговговічність підрейкових основ.

2. Формування наноструктурованого цементного каменю під час модифікування бетонної суміші добавкою ПЛКП сприяє збільшенню міцності на вигін, водонепроникності та морозостійкості бетону підрейкових основ.

3. Доцільність використання цементу ПЩ І-500Н виробництва ПАТ «Хайдельбергцемент Україна», м. Дніпродзержинськ в поєднанні з добавкою ПЛКП для виробництва залізобетонних шпал зумовлена її позитивним впливом на довговічність бетону за умов дотримання приведеної лужності цементу менше ніж 0,6 % (мас).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бутт, Ю. М. Химическая технология вяжущих материалов / Ю. М. Бутт, М. М. Сычев, В. В. Тимашев. – Москва : Высш. шк., 1980. – 237 с.
- 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 можливості виробництва залізобетонних шпал за безпропарувальною технологією / А. А. Плугін, А. М. Плугін, О. В. Романенко [та ін.] // Удосконалення конструкції заліз. колії та системи ведення колійного господарства : зб. наук. пр. / Укр. держ. акад. заліз. трансп. – Харків, 2008. – Вип. 91. – С. 211–224.
- 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.2.7-49-96 (ГОСТ 10060.2-95). Будівельні матеріали. Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні. – Київ : Укрархбудінформ, 1996. – 9 с.
- ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови / Держ. ком. з буд-ва, архіт. та житл. політики України. – Київ : Вид-во стандартів, 2010. – 20 с.
- ДСТУ Б В.2.6-145:2010 (ГОСТ 31384:2008, NEQ). Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги. – Київ : Укрархбудінформ, 2010. – 56 с.
- ДСТУ Б В.2.7-75-98. Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови / Держ. ком. з буд-ва, архіт. та житл. політики України. – Київ : Вид-во стандартів, 1999. – 14 с.
- Коваленко, В. В. Дослідження причин передчасного руйнування залізобетонних шпал на Знам'янській дистанції колії ПЧ 10 Одеської залізниці / В. В. Коваленко, Ю. Л. Заяць, П. О. Пшінько // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 6 (60). – С. 149–163. doi: 10.15802/stp2015/57100.
- Кузнецова, Т. В. Алюминатные и сульфатные цементы / Т. В. Кузнецова. – Москва : Стройиздат, 1986. – 208 с.
- Пат. 18368 Україна, МПК С 04 В 22/08 (2006.01). Будівельна суміш / Пшінько О. М., Коваленко С. В., Шейніч Л. О., Заяць Ю. Л., Коваленко В. В., Щербіна С. П., Решетняк Т. П. ; заявник та патентовласник Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. – № u200603788 ; заявл. 06.04.2006 ; опубл. 15.11.2006, Бюл. №1/2006. – 2 с.
- Пат. 99426 Україна, МПК G 01 N № 33/38 (206.01), С 04 В 28/00. Особливошвидкоотверднучий безпропарувальний бетон / Плугін А. А., Плугін А. М., Романенко О. В. [та ін.] ; заявник та патентовласник Укр. держ. акад. заліз. трансп. – № а 2011 14838 ; заявл. 14.12.2011 ; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 15. – 20 с.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

14. Пат. 71208 А Україна, МПК 7 С 04 В 28/12. Суперпластифікована цементно-водна суспензія СПЦВС для цементної гірських порід і будівельних конструкцій / Пługін А. М., Пługін А. М., Калінін О. А. [та ін.] ; заявник та патентовласник Укр. держ. акад. заліз. трансп. – № 20031210920 ; заявл. 02.12.2003 ; опубл. 15.11.2004, Бюл. № 11. – 6 с.
15. Полинг, Л. Химия / Л. Полинг, П. Полинг. – Москва : Мир, 1978. – 686 с.
16. Романенко, О. В. Фізико-хімічні дослідження цементного каменю з добавками суперпластифікатора та прискорювача твердіння / О. В. Романенко // Зб. наук. пр. / Укр. держ. акад. заліз. трансп. – Харків, 2012. – Вип. 130. – С. 40–49.
17. Сорочка довголіття / Магістраль. – 2013. – 13 січ. – С. 7.
18. Штарк, Й. Долговечность бетона / Й. Штарк, В. Бернд. – Киев : Оранта, 2004. – 301 с.
19. Recent durability studies on concrete structure / S. W. Tang, Y. Yao, C. Andrade, Z. J. Li // Cement and Concrete Research. – 2015. – Vol. 78, pt. A. – P. 143–154. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.05.021.
20. Scrivener, K. L. Advances in understanding hydration of Portland cement / K. L. Scrivener, P. Juilland, P. J. M. Monteiro // Cement and Concrete Research. – 2015. – Vol. 78, pt. A. – P. 38–56. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.05.025.

В. В. КОВАЛЕНКО^{1*}, Ю. Л. ЗАЯЦЬ^{2*}, П. А. ПШИНЬКО^{3*}, С. В. КОВАЛЕНКО⁴

^{1*}Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 489 07 72, эл. почта kovalekovv@upr.dit.edu.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

⁴ЧП «Логия», ул. Красная, 19-А, Днепропетровск, Украина, 49000, тел. + 38 (050) 34 00 716, эл. почта logiya@ukr.net

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В БЕТОНАХ ПОДРЕЛЬСОВЫХ ОСНОВАНИЙ

Цель. Работа предполагает выявление зависимости структурных и механических свойств бетона от состава применяемых добавок-модификаторов, характера изменений структурных и механических свойств в зависимости от срока твердения бетона контрольных и модифицированных образцов. **Методика.** Примененные микроструктурные, фрактографические, микрорентгеноспектральные анализы и физико-механические испытания позволили выявить необходимые зависимости. **Результаты.** Микроструктура цементного камня при равных условиях подбора бетонных смесей зависит от состава применяемых сырьевых материалов и технологии производства. В работе исследуются структурные перестройки во время схватывания бетонов на жестких смесях и влияние составных частей комплексной добавки-модификатора ПЛКП (производства ООО «Логия», г. Днепропетровск) на морфологию, дисперсность и химический состав цементного камня, а также механические характеристики бетона для подрельсовых оснований. Исследование структурных и физико-механических характеристик контрольных образцов и модифицированных бетонов на различных стадиях твердения показали, что применение гиперпластификатора ПЛКП украинского производства способствует формированию наноструктурированного бетона. Добавление в состав добавки на основе суперпластификаторов ускорителей твердения способствует уменьшению диаметра пучков нитевидных кристаллов, увеличивает структурную однородность, стабильность и повышает комплекс механических характеристик бетона. Применение новых поликарбонат-боксилатных добавок ПЛКП в производстве бетонных смесей для подрельсовых оснований позволяет исключить пропаривание из технологии производства подрельсовых оснований. Отсутствие солевой составляющей в добавке способствует повышению долговечности бетона. **Научная новизна.** В работе выявлено, что модификация бетона комплексной добавкой ПЛКП способствует формированию наиболее однородной структуры цементного камня, которая состоит из компактных кристаллов, окруженных нитевидными кристаллами, которые плотно переплетены в поровом пространстве. Такая

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

структура способствует максимальной характеристике прочности бетона при сжатии. Причем пропаривание по традиционной технологии способствуют увеличению размеров первичных этрингитных кристаллов, имеющих склонность к реструктуризации в процессе эксплуатации железобетонных изделий при температурах около 20° С. **Практическая значимость.** Регулирование технологических параметров производства подрельсовых оснований, а именно – снижение температуры пропаривания или изъятия этой операции с технологического цикла изготовления железобетонных шпал, при использовании добавки ПЛКП позволяет повысить структурную однородность и стабильность, увеличить плотность бетона и в результате положительно влиять на его долговечность.

Ключевые слова: бетон; микроструктура цементного камня; нитевидные кристаллы; сроки схватывания; пропаривание; пластификатор бетонной смеси; ускоритель схватывания; подрельсовые основания

V. V. KOVALENKO^{1*}, YU. L. ZAYATS^{2*}, P. O. PSHINKO^{3*}, S. V. KOVALENKO⁴

^{1*}Dep. «Life Safety», 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 kovalekovv@upp.diit.edu.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 mostproekt@yandex.ua, ORCID 0000-0003-4187-5340

⁴PE «Lohiia», Chervona St., 19-A, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49000, tel. + 38 (050) 34 00 716, e-mail logiya@ukr.net

STRUCTURE FORMATION IN FOUNDATION SLAB CONCRETE

Purpose. The work involves identifying the dependence of structural and mechanical properties of the concrete on the composition of used modifier additives, the nature of changes of structural and mechanical properties depending on the period of concrete hardening of test and modified samples. **Methodology.** The applied microstructural, fractographic, microprobe analyses and physico-mechanical tests revealed the required dependencies. **Findings.** The microstructure of the cement stone under equal conditions of concrete mix selection depends on the composition of used raw materials and production technology. This paper investigates the structural changes in the setting time of hard mixture concrete and effect of component parts of the complex modifier additive PLKP (produced by «Logia», Dnepropetrovsk) on morphology, dispersion and chemical composition of the cement stone, as well as the mechanical characteristics of concrete for the foundation slab. The study of the structural and physical-mechanical characteristics of the test samples and modified concrete at various hardening stages showed that the use Ukrainian hyperplasticizer PLKP contributes to the formation of nano-structured concrete. The addition of hardening accelerators to the super-plasticizer additive reduces the diameter of crystal whiskers, increases the structural homogeneity and stability and improves the complex of the concrete mechanical characteristics. Application of new PLKP polycarboxylate additives in the production of concrete mixtures for the foundation slab allows eliminating the steaming from the foundation slab production technology. The absence of salt component in the additive improves the concrete durability. **Originality.** The paper showed that modification of the concrete with complex additive PLKP facilitates the formation of the most homogeneous structure of cement stone, which consists of compact crystals surrounded by fibrous crystals that are tightly intertwined in the pore space. This structure contributes to the maximum characteristics of the concrete compressive strength. Herewith the steaming by traditional technology helps to increase the size of the primary ettringite crystals having a tendency to restructure during the operation of concrete products at temperatures of around 200°C. **Practical value.** Adjustment of foundation slab production parameters, namely – steaming temperature reduction or elimination of this operation from the concrete sleeper production cycle, using PLKP additives, can improve the structural homogeneity and stability, increase the density of the concrete and result in positive effect on its durability.

Keywords: concrete; cement stone microstructure; fibrous crystals; setting time; steaming; concrete plasticizer; setting accelerator; foundation slab

REFERENCES

1. Butt Yu.M., Sychev M.M., Timashev V.V. *Khimicheskaya tekhnologiya vyazhushchikh materialov* [Chemical technology of cementing agent]. Moscow, Vyssaya shkola Publ., 1980. 237 p.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

2. 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 for operational lifetime of concrete sleepers in Ukraine and abroad]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2012, no. 3/4, pp. 76-81.
3. Rybkin V.V., Kovalenko V.V., Zaiats Yu.L., Pshinko P.O., Kovalenko S.V., Yakovliev V.O. Doslidzhennia ekspluatatsiinoi stiiokosti zalizobetonnykh shpal ta osnovni tekhnolohichni pryimy yii pokrashchennia [Research the operational stability of the concrete sleepers and main constructions techniques of its improvement]. *Budivnytstvo Ukrainy – Construction of Ukraine*, 2011, no. 4, pp. 19-23.
4. Pluhin A.A., Pluhin A.M., Romanenko O.V., Yakovliev V.O., Borziak O.S., Pluhin O.A., Dudin O.A. Doslidzhennia mozhlyvosti vyrobnytstva zalizobetonnykh shpal za bezpropariuvalnoi tekhnolohiiei [Study the possibility for production of concrete sleepers with non-steam technology]. *Zbirnyk naukovykh prats «Udoskonalennia konstruktii zaliznychnoi kolii ta systemy vedennia koliihnoho hospodarstva»* [Proc. «Improvement of the railway track construction and track facility policy»]. Kharkiv, 2008, issue 91, pp. 211-224.
5. Rybkin V.V., Kovalenko V.V., Zayats Yu.L., Pshinko P.O., Lisniak V.P., Yaryshkina L.O., Vasylieva 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 natsionalnogo 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.
6. DSTU B V.2.7-49-96 (HOST 10060.2-95). *Budivelni materialy. Betony. Pryskoreni metody vyznachennia morozostiokosti pry bahatorazovomu zamorozhuvanni ta vidtavanni* [State Standard of Ukraine B V.2.7-49-96 (State Standard 10060.2-95). Building materials. Concrete. Accelerated methods for determination frost resistance after repeated freezing and thawing]. Kyiv, Ukrarkhbudininform Publ., 1996. 9 p.
7. DSTU B V.2.7-46:2010. *Budivelni materialy. Tsementy zahalnobudivelnoho pryznachennia. Tekhnichni umovy* [State Standard of Ukraine B V.2.7-46:2010. Building materials. Cements for general purposes. Specifications]. Kyiv, Vydavnytstvo standartiv Publ., 2010. 20 p.
8. DSTU B V.2.6-145:2010 (HOST 31384:2008, NEQ). *Zakhyst betonnykh i zalizobetonnykh konstruktii vid korozii. Zahalni tekhnichni vymohy* [State Standard of Ukraine B V.2.6-145:2010 (State Standard 31384:2008, NEQ). Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion. General specifications]. Kyiv, Ukrarkhbudininform Publ., 2010. 56 p.
9. DSTU B V.2.7-75-98. *Shchebin i hravii shchilni pryrodni dlia budivelnnykh materialiv, vyrobiv, konstruktii i robit. Tekhnichni umovy* [State Standard of Ukraine B V.2.7-75-98. Crushed stone and gravel for dense natural building materials, products, structures and operations. Specifications]. Kyiv, Vydavnytstvo standartiv, 1999. 14 p.
10. Kovalenko V.V., Zaiats Yu.L., Pshinko P.O. Doslidzhennia prychnyn peredchasnoho ruinuvannia zalizobetonnykh shpal na Znamianskii dystantsii kolii PCh 10 Odeskoï zaliznytsi [The causes study of the premature destruction of the concrete slippers on the Znamenka track of the IS 10 of the Odessa railway]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 6 (60), pp. 149-163. doi: 10.15802/stp2015/57100.
11. Kuznetsova T.V. *Alyuminatnyye i sulfatnyye tsementy* [Aluminate and sulphate cements]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 208 p.
12. Pshinko O.M., Kovalenko S.V., Sheinich L.O., Zaiats Yu.L., Kovalenko V.V., Shcherbina S.P., Reshetniak T.P. *Budivelna sumish* [Structural mixes]. Patent Ukraine, no. u200603788, 2006.
13. Pluhin A.A., Pluhin A.M., Romanenko O.V. *Osoblyvshvydkotverdnuchyi bezpropariuvalnyi beton* [Especially rapidly solidified concrete without the steam curing]. Patent Ukraine, no. 33/38 (206.01), C 04 B 28/00, 2012.
14. Pluhin A.M., Pluhin A.M., Kalinin O.A. *Superplastyfikovana tsementno-vodna suspenziia SPTSVS dlia tsementatsii hirskykh porid i budivelnnykh konstruktii* [Superplasticizer cement-water slurry SPTSVS for cementation of rocks and building structures]. Patent Ukraine, no. 20031210920, 2004.
15. Poling L., Poling P. *Khimiya* [Chemistry]. Moscow, Mir Publ., 1978. 686 p.
16. Romanenko O.V. Fizyko-khimichni doslidzhennia tsementnoho kameniu z dobavkamy superplastyfikatora ta pryskoriuvacha tverdinnia [Physics and chemical studies of a cement stone with superplasticizer's additives and hardening accelerator]. *Zbitnyk naukovykh prats* [Proceedings]. Kharkiv, 2012, issue 130, pp. 40-49.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

17. Sorochka dovholittia [Longevity Shirt]. *Mahistral – Highway*, 2013, 13 March, 7 p.
18. Shtark Y., Bernd V. *Dolgovechnost betona* [Durability of Concrete]. Kiev, Oranta Publ., 2004. 301 p.
19. Tang S.W., Yao Y., Andrade C., Li Z.J. Recent durability studies on concrete structure. *Cement and Concrete Research*, 2015, vol. 78, part A, pp. 143-154. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.05.021.
20. Scrivener K.L., Juilland P., Monteiro P.J.M. Advances in understanding hydration of Portland cement. *Cement and Concrete Research*, 2015, vol. 78, part A, pp. 38-56. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.05.025.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. І. Нетесою (Україна); д.т.н., проф. Н. В. Савицьким (Україна)

Надішла до редколегії: 04.01.2016

Прийнята до друку: 17.04.2016

UDC 624.04

M. SYBIS^{1*}, A. SMOCZKIEWICZ-WOJCIECHOWSKA^{2*}, A. SZYMCZAK-GRACZYK^{3*}^{1*}Institute of Civil and Geoeengineering, Poznan University of Life Sciences, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznan, Poland, email msybis@up.poznan.pl, ORCID 0000-0002-0032-6313^{2*}Institute of Civil and Geoeengineering, Poznan University of Life Sciences, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznan, Poland, email asw72@up.poznan.pl, ORCID 0000-0002-7202-6678^{3*}Institute of Civil and Geoeengineering, Poznan University of Life Sciences, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznan, Poland, email agraczyk@up.poznan.pl, ORCID 0000-0002-1187-9087**IMPACT OF MATRIX INVERSION ON THE COMPLEXITY OF THE FINITE ELEMENT METHOD**

Purpose. The development of a wide construction market and a desire to design innovative architectural building constructions has resulted in the need to create complex numerical models of objects having increasingly higher computational complexity. The purpose of this work is to show that choosing a proper method for solving the set of equations can improve the calculation time (reduce the complexity) by a few levels of magnitude. **Methodology.** The article presents an analysis of the impact of matrix inversion algorithm on the deflection calculation in the beam, using the finite element method (FEM). Based on the literature analysis, common methods of calculating set of equations were determined. From the found solutions the Gaussian elimination, LU and Cholesky decomposition methods have been implemented to determine the effect of the matrix inversion algorithm used for solving the equations set on the number of computational operations performed. In addition, each of the implemented method has been further optimized thereby reducing the number of necessary arithmetic operations. **Findings.** These optimizations have been performed on the use of certain properties of the matrix, such as symmetry or significant number of zero elements in the matrix. The results of the analysis are presented for the division of the beam to 5, 50, 100 and 200 nodes, for which the deflection has been calculated. **Originality.** The main achievement of this work is that it shows the impact of the used methodology on the complexity of solving the problem (or equivalently, time needed to obtain results). **Practical value.** The difference between the best (the less complex) and the worst (the most complex) is in the row of few orders of magnitude. This result shows that choosing wrong methodology may enlarge time needed to perform calculation significantly.

Keywords: finite element method; FEM; LU; Cholesky; Gaussian elimination; decomposition methods; optimizations

Introduction

The development of a wide construction market and a desire to design innovative architectural building constructions has resulted in the need to create complex numerical models of objects having increasingly higher computational complexity.

There are a lot of numerical methods designed to provide an approximate solutions to the considered problem including finite element method (FEM), boundary element method (BEM) or finite difference method (FDM).

The article is organized as follows. The first section describes the main characteristics of Finite Element Methods for the beam element. The second point concerns the computational complexity of the FEM. In the next point, an estimate of the complexity of the individual stages of the FEM is presented. In the fourth section the

basic methods used to solve set of linear equations are presented. The next point is dedicated to the presentation and discussion on the complexity of the implemented algorithms, depending on the implemented matrix inversion method and the number of nodes used in calculations. Summary of the article is included in section six.

Purpose

The purpose of this work is to show that choosing a proper method for solving the set of equations can improve the calculation time (reduce the complexity) by a few levels of magnitude.

Methodology

FEM for the beam element: Finite element method is one of the most popular tools used in engineering calculations. One of the basic

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

assumptions of this method is the abandonment of the analytical division of the area for the division into a finite number of elements [12]. The calculation takes place only at specific points, called nodes, and the results for the rest of the area are approximated using, so-called, shape functions on the basis of the results obtained for each node [10], [2], [4].

The basic steps in the FEM for the beam element can be described as follows [7], [8]:

– In the first step, we divide the beam in the given number of finite elements and select nodes. We accept both the local and the global coordinate system,

– Number of components of the displacement vector q_e need to be set,

– Shape functions N need to be assumed:

$$N = [N_1, N_2, N_3, N_4] \quad (1)$$

Shape functions for the beam construction can be assumed as a third degree polynomial written in the classical form as:

$$N_1 = \frac{1}{l^3} (2x^3 - 3lx^2 + l^3) \quad (2)$$

$$N_2 = \frac{1}{l^3} (lx^3 - 2l^2x^2 + xl^3) \quad (3)$$

$$N_3 = \frac{1}{l^3} (-2x^3 + 3lx^2) \quad (4)$$

$$N_4 = \frac{1}{l^3} (lx^3 - l^2x^2) \quad (5)$$

or in the matrix form:

$$N = \frac{1}{l^3} \begin{bmatrix} 2x^3 - 3lx^2 + l^3, & lx^3 - 2l^2x^2 + xl^3 \\ -2x^3 + 3lx^2, & lx^3 - l^2x^2 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

The stiffness matrices K_e are determined in each node

$$K_e = \frac{EI}{l^3} \begin{bmatrix} 12 & 6l & -12 & 6l \\ 6l & 4l^2 & -6l & 2l^2 \\ -12 & -6l & 12 & -6l \\ 6l & 2l^2 & -6l & 4l^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Calculation of substitute nodal loads matrix

$$p_b = \int_0^l N^T b_y dx = \frac{b_y l}{12} [6, l, 6, -l] \quad (8)$$

Calculation of the B matrix that describes the deflection at each point of the element with the following equation:

$$B = LN \quad (9)$$

where L is the differentiation operator described as follows:

$$L = -y \frac{d^2}{dx^2} \quad (10)$$

Substituting equations (6) and (10) to (9) gives:

$$B = LN = -\frac{y}{l^3} \begin{bmatrix} 12x - 6l, & 6lx - 4l^2 \\ -12x + 6l, & 6lx - 2l^2 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

The stiffness and nodal load matrices are aggregated to the global system with application of the boundary conditions.

We solve the equation for the balance of the structure (12) identifying unknown deflections u :

$$Ku = p_b \quad (12)$$

Computational complexity: A key issue regarding the performance of all algorithms, including FEM [7], is the computational complexity or, in other words, computing requirements. We call computational requirements all the necessary arithmetic operations that need to be performed during calculations.

The concept of computational complexity is also associated with the issue of the resources availability. Resources can be defined in the form of time or memory [8], [9].

– Time complexity – the measurement of the time complexity is performed by the calculation of the number of basic operations that depend on the size of the input data. Measuring the actual clock time can vary depending on the implementation of the algorithm, computing machine or a compiler used.

– Memory complexity – the memory complexity expresses the amount of memory used, expressed as the number of memory cells in a function of the size of input data or expressed in bits or bytes, to perform specific computing.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

The creators of complexity theory are Juris Hartmanis and Richard Stearns [3]. It can be said that the larger the scale of the problem and thus the larger size of the input data, the more resources it will need to perform computing operations [12].

A common way to compare the complexity of various algorithms is to determine their asymptotic growth rate. It is a measure of the time requirements with increasing size of the input data. It can be said that it describes how quickly time requirements are changing.

To describe the asymptotic growth rate so-called O notation is used. It can be said that a function f has a complexity of $O(g(n))$ if there is a positive constant value c and non-negative value N satisfying the condition:

$$f(n) \leq cg(n) \quad \text{for } n \geq N. \quad (13)$$

In the remainder of this article the above notation will be used to determine the computational complexity of different stages of FEM algorithm.

Estimating the complexity of the FEM algorithm: In this section we will investigate the complexity of the different stages of the FEM algorithm and we will assess its impact on the complexity of the entire algorithm.

a) Dividing the Ω area into finite elements.

In the case of beam element, this step has a very low complexity, which can be estimated as $O(n)$.

b) Adoption of shape functions vector N_e and degrees of freedom q_e .

The complexity of this stage is constant and is equal to $O(1)$. It is due to the fact that regardless the size of the problem (e.g. number of nodes), this step is performed only once.

a) Calculation of elementary stiffness matrices K_e and nodal loads vectors Q_e .

This step, similar like the previous one, has the complexity of the order of $O(1)$. This is because the number of selected nodes does not affect the complexity of calculating the elementary matrices K_e and Q_e .

b) Aggregation of the stiffness matrix K and the loads vector Q for the entire object.

The complexity of this stage is linear and thus can be noted as $O(n)$. This is related to the need to add the K_e matrix to the aggregated matrix K n -times.

b) Boundary conditions.

Because taking into account boundary conditions takes place only at the ends of the beam it not depend on the number of nodes. It is therefore assumed that this step has a complexity of the order of $O(1)$.

a) Solving $Kq=Q$ equation

On the basis of the literature it can be stated that the complexity of this stage is in the order of $O(n^3)$.

Methods of solving equations set: As shown in section 4 the most complex part of each of the algorithms is a step designated to solve the set of equations. This problem is even more complex in the case of finite element methods because this method has to generally deal with matrices of considerable sizes, which entails the need of conducting significant number of mathematical operations. Below, collection of the most popular methods for solving linear sets of equations (and matrix inversion), which can be found in the literature is presented.

The method of algebraic complements: Application of this method requires the appointment of an inverse matrix which subsequently need to be multiplied by the vector of the right side values. The algorithm for inverse matrix calculation can be presented in a following steps [3]:

- Calculation of the determinant of the matrix A ,
- Calculation of the algebra complements of all elements of a matrix,
- Transposition of the matrix containing algebraic complements,
- Determination of the inverse matrix.

These steps can be represented by the following formula:

$$A^{-1} = \frac{1}{\det A} \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & \cdots & D_{1n} \\ D_{21} & D_{22} & \cdots & D_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ D_{n1} & D_{n2} & \cdots & D_{nn} \end{bmatrix}^T \quad (14)$$

where $\det A$ is the determinant of a matrix A and the D_{11} , D_{12} , ..., D_{nn} represent the algebraic complement values of consecutive elements of matrix A [12].

Gauss-Jordan method: This method is another method whose immediate goal is to determine the inverse matrix (further step in the form of

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

multiplication of inverse matrix and right values vector need to be performed). Gaussian elimination is also called matrix method of the attached identity matrix.

To find the inverse of a matrix A the following set of equations need to be solved:

$$AB = I \quad (15)$$

where: A – output matrix, B – inverse matrix, I – identity matrix. It is necessary for both sub-matrices $[A|I]$ to multiply them by matrix B , to get the matrix

$$[AB|IB] \quad (16)$$

Taking into account that $B = A^{-1}$ the $[A|I] \rightarrow [I|A^{-1}]$ is obtained. In order to get the inverse of matrix A the sub-matrix A in the $[A|I]$ need to be converted to unitary sub-matrix with the use of elementary operations on the rows.

Gauss elimination: This method was developed by a famous German mathematician Carl Friedrich Gauss [6]. Its purpose is to bring the matrix to form a stepwise matrix (Lower or Upper triangular matrix) using elementary operations on the rows. It should be also checked the existence of solution by using the Kronecker-Capelli theorem.

Cholesky decomposition: Every positively definite matrix A can be written as [11, 5, 13]

$$A = L \cdot L^T \quad (17)$$

where: L – the lower-triangular matrix with positive values on the main diagonal, referred to as the «square root» of positive definite matrix A .

In equation (17), the unknowns are the elements of the matrix L :

$$L = \begin{bmatrix} l_{11} & \square & \square & \square \\ l_{21} & l_{22} & \square & \square \\ \vdots & \vdots & \ddots & \square \\ l_{n1} & l_{n2} & \cdots & l_{nn} \end{bmatrix} \quad (18)$$

Using the formulas for calculating the matrix product it is possible to describe the relations that allow to calculate individual elements of the matrix L . As a result:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & A_{21}^T \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} & 0 \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_{11} & L_{21}^T \\ 0 & L_{22}^T \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} l_{11}^2 & l_{11}L_{21}^T \\ l_{11}L_{21} & L_{21}L_{21}^T + L_{22}L_{22}^T \end{bmatrix} \quad (19)$$

thus

$$l_{11} = \sqrt{a_{11}} \quad (20)$$

and

$$L_{21} = \frac{1}{l_{11}} A_{21} \quad (21)$$

It can be also noticed that:

$$L_{22}L_{22}^T = A_{22} - L_{21}L_{21}^T = A_{22} - \frac{1}{a_{11}} A_{21}A_{21}^T \quad (22)$$

Solving of equations $Ax=b$ is performed in two stages:

$$Ax=b \quad (23)$$

$$LL^T x=b \quad (24)$$

$$Ly=b \quad (25)$$

$$L^T x=y \quad (26)$$

Solving the $Ly=b$ equation

$$y_1 = \frac{b_1}{l_{11}} \quad (27)$$

$$y_j = \frac{b_j - \sum_{k=1}^{j-1} l_{jk}y_k}{l_{jj}} \text{ dla } j=2,3,\dots,n \quad (28)$$

Solving the $L^T x=y$ equation

$$x_n = \frac{y_n}{l_{nn}} \quad (29)$$

$$x_i = \frac{y_i - \sum_{k=i+1}^n l_{ik}x_k}{l_{ii}}, \quad i=n-1, n-2, \dots, 1 \quad (30)$$

Expression (22) is so-called the Schur complement. Due to the positive value of the expression for positive definite matrix, decomposition algorithm can be applied to the matrix diminished by first row and first column.

LU decomposition: The method of LU decomposition is to produce a matrix A as a product of two triangular matrices: lower L and upper U with the addition of zero elements, above and below, respectively, the main diagonal of the

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

matrix [1]. This formally can be written as:

$$A = LU \quad (31)$$

where:

$$L = \begin{bmatrix} l_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ l_{21} & l_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ l_{n1} & l_{n2} & \cdots & l_{nn} \end{bmatrix} \quad (32)$$

and

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ 0 & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & u_{nn} \end{bmatrix} \quad (33)$$

Analyzed set of equations can be described as:

$$LUx = y \quad (34)$$

Solving the equation (34) is achieved by solving two sets of equations:

$$Lz = y \quad (35)$$

$$Ux = z \quad (36)$$

In this way, we obtain a searched vector x .

Findings

This section provides an analysis of the computational requirements of different matrix inversion algorithms for finite element method.

The calculations were performed for the fixed-end beam of the length equal to $l_x = 6.5$ m, loaded with a uniformly distributed load q equal to 15 kN / m, which diagram is shown in Fig. 1.

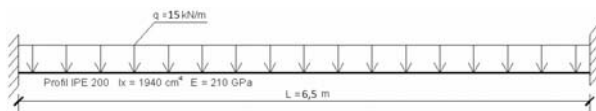


Fig. 1. Scheme of the investigated beam

For each method, the calculations of deflection of the beam, which is presented in Fig. 2, divided into 5, 50, 100 and 200 nodes have been performed. The process of calculation of the equation (12) has been carried out using the Gauss method, Cholesky decomposition and LU decomposition. In addition, each method has been further optimized. This optimization consisted in the use of some knowledge of matrices. For

example, it has been taken into account that the matrices are symmetrical and contain a large number of coefficients equal to 0, which meant that some multiplications and additions can be omitted when performing calculations. The obtained results have been shown in the latter part of this section.

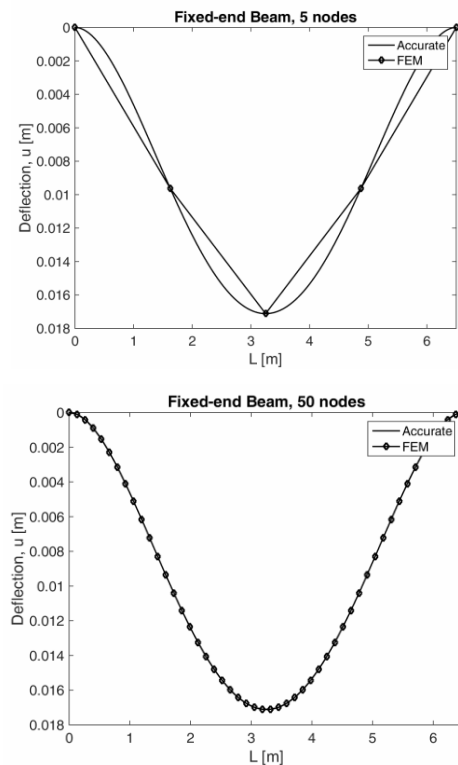


Fig. 2. Deflection of the beam for 5 (top) and 50 (bottom) nodes calculated with the use of FEM and accurate methods

Table 1 presents the number of mathematical operations performed during calculation of the deflection of the beam divided into 5 nodes, depending on the implemented method for matrix inversion (solving equation set).

Second column shows the assignment operations necessary to be performed. Assignment operations are the operations of saving the calculated values in the memory of the computer (after the value is calculated it needs to be stored in the memory). The third column shows the number of addition operations and in subsequent columns, number of multiplications, divisions and square root calculations are presented. Last column presents the total number of required operations (sum of the operation of the preceding columns).

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Table 1
**Number of mathematical operations for different
implemented algorithms, FEM methodology,
division into 5 nodes**

| Method | Gauss | Opt. Gauss | LU | Opt. LU | Cholesky | Opt. Cholesky |
|------------------|-------|---------------|-----|------------|----------|------------------|
| Assignments | 106 | 74 | 72 | 60 | 98 | 84 |
| Additions | 85 | 56 | 120 | 56 | 91 | 79 |
| Multi-plications | 85 | 56 | 120 | 56 | 65 | 54 |
| Divisions | 21 | 18 | 21 | 18 | 32 | 31 |
| Square roots | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 |
| Total | 297 | 204 | 333 | 190 | 292 | 254 |

Hereafter the name basic methods has been used regarding the Gauss, LU decomposition and Cholesky decomposition methods while the term optimized methods has been used regarding the optimized versions of these algorithms.

Comparing the Gauss method to the optimized Gauss method it can be noticed that the number of arithmetical operations performed is reduced by about 31%. For the LU decomposition method and its optimized version complexity reduction is at the level of 43%. In the case of optimized Cholesky decomposition method compared to its non optimized version the profits is equal to approximately 13%.

While taking into account the non optimized versions of the algorithms the number of operations performed by a Cholesky method is the smallest. However, while taking the optimized versions into account more preferably is to use LU and Gauss method.

For 50 nodes, we can observe a significant reduction in the number of mathematical operations required to perform for optimized algorithms compared to basic methods. The obtained results are shown in Table 2. Reduction of the number of arithmetic operations in the Gauss method and LU decomposition compared to their non optimized methods is about 99.5%. The difference between these two optimized methods is however low and is equal to about 2.5% in favor of the LU method. Basic Cholesky method gives results more than 17% better (in terms of required complexity) compared to other basic methods. Optimization of this method gives a gain of about 96%. However, the situation is changing if optimized methods are

compared because other methods are more than 80% less complex.

Table 2
**Number of mathematical operations for different
implemented algorithms, FEM methodology,
division into 50 nodes**

| Method | Gauss | Opt. Gauss | LU | Opt. LU | Cholesky | Opt. Cholesky |
|----------------------|--------|---------------|--------|------------|----------|------------------|
| Assign- ments | 304096 | 1784 | 18432 | 1320 | 161408 | 2244 |
| Additions | 299440 | 1406 | 446880 | 1406 | 299536 | 14884 |
| Multi- plications | 299440 | 1406 | 446880 | 1406 | 156560 | 1674 |
| Divisions | 4656 | 378 | 5646 | 378 | 143072 | 13306 |
| Square roots | 0 | 0 | 0 | 0 | 96 | 96 |
| Total | 907632 | 4974 | 916848 | 4510 | 760672 | 32204 |

For 100 nodes (see Table 3) application of the optimized methods result in a reduction in the number of arithmetic operations performed in relation to the basic methods, even by three orders of magnitude, giving a gain of 99.9%. It is also worth noting that optimized LU decomposition method requires 10 % less operations than the optimized Gauss method and 92% fewer than the Cholesky method.

Table 3
**Number of mathematical operations for different
implemented algorithms, FEM methodology,
division into 100 nodes**

| Method | Gauss | Opt. Gauss | LU | Opt. LU | Cholesky | Opt. Cholesky |
|----------------------|---------|---------------|---------|------------|----------|------------------|
| Assign- ments | 2548196 | 3684 | 76832 | 2720 | 1312808 | 4644 |
| Additions | 2528890 | 2906 | 3783780 | 2906 | 2529086 | 59834 |
| Multi- plications | 2528890 | 2906 | 3783780 | 2906 | 1293110 | 3474 |
| Divisions | 19306 | 778 | 19306 | 778 | 1236172 | 56556 |
| Square roots | 0 | 0 | 0 | 0 | 196 | 196 |
| Total | 7625282 | 10274 | 7663698 | 9310 | 6371372 | 124704 |

Table 4

**Number of mathematical operations for different
implemented algorithms, FEM methodology,
division into 200 nodes**

| Method | Gauss | Opt. Gauss | LU |
|----------------------|----------|---------------|----------|
| Assign-ments | 20856396 | 7484 | 313632 |
| Additions | 20777790 | 5906 | 31127580 |
| Multi- plications | 20777790 | 5906 | 31127580 |
| Divisions | 78606 | 1578 | 78606 |
| Square roots | 0 | 0 | 0 |
| Total | 62490582 | 20874 | 62647398 |

End of table 4

| Method | Opt. LU | Cholesky | Opt. Cholesky |
|----------------------|---------|----------|---------------|
| Assign-ments | 5520 | 10585608 | 9444 |
| Additions | 5906 | 20778186 | 239734 |
| Multi- plications | 5906 | 10506210 | 7074 |
| Divisions | 1578 | 10272372 | 233056 |
| Square roots | 0 | 396 | 396 |
| Total | 18910 | 52142772 | 489704 |

By analyzing the amount of necessary operations to be performed for 200 nodes (Table 4) it can be noticed that the difference between the optimized versions and the basic algorithms is in the order of four orders of magnitude (profit is more than 99.99%) for the Gauss method and LU decomposition. Profit for the Cholesky decomposition between the basic version and its optimized version reaches the value of 99%.

Similar as for 100 nodes the difference between the optimal versions of LU and Gauss is still around 10% (in favor of the LU decomposition method). Optimized Cholesky method offers the highest complexity compared with other optimized algorithms where number of required operations is more than 95% lower.

The basic version of Cholesky method is about 16% less complex compared to other methods considered.

Originality and practical value

The main achievement of this work is that it shows the impact of the used methodology on the complexity of solving the problem (or equivalently, time needed to obtain results). The difference between the best (the less complex) and the worst (the most complex) is in the row of few orders of magnitude. This result shows that choosing wrong methodology may enlarge time needed to perform calculation significantly.

Conclusions

In the article the impact of the method used for calculating the equations set on the number of arithmetic operations performed is investigated. Deflection of the beam when divided into 5, 50, 100 and 200 nodes using the finite element method has been calculated. To solve the set of equations the Gauss method, LU and Cholesky decomposition methods were implemented. In addition, for each method an optimized version of the algorithm was also investigated, what was intended to further reduce the number of computational operations performed. It was found that in order to maximally reduce the number of necessary to conduct operations at first the advantage of all known properties of the resulting matrix should be taken. Afterwards, the selection of a method that aims at the highest possible reduction of complexity in solving the system of equations should be made.

In the case of optimized methods number of operations can be reduced, by several orders of magnitude. It is also important to choose a proper method because in the basic versions it is preferably to choose Cholesky method while the worst choice is the LU decomposition. However, the situation changes for the optimized methods. The best results are observed for LU decomposition method giving a gain of 3–10% compared to the Gaussian method, and more than 90% compared to the for the Cholesky method.

It was also found that the highest differences between the complexity of the methods are observed if the beam is divided into a larger number of nodes.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

LIST OF REFERENCE LINKS

1. A parallel domain decomposition method for 3D unsteady incompressible flows at high Reynolds number / R. Chen, Y. Wu, Z. Yan [et al.] // *J. of Scientific Computing*. – 2013. – Vol. 58. – Iss. 2. – P. 275–289. doi: 10.1007/s10915-013-9732-x.
2. Balonek, K. Wprowadzenie do metody elementów skończonych / K. Balonek, S. Gozdur ; Akademia Górniczo Hutnicza. – Kraków, 2009.
3. Drwal, M. Algorytmy algebry numerycznej. Rozwiązanie układu równań liniowych / M. Drwal. – Wrocław : Politechnika Wrocławska, 2012.
4. Dzierżankowski, G. Samouczek Metody Elementów Skończonych / G. Dzierżankowski, M. Sitek. – Warszawa : Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2012. – 106 p.
5. Geijn, R. A. van de. Notes on Cholesky Factorization / R. A. van de Geijn // Report TX 78712 University of Texas at Austin, Department of Computer Science. – Austin, 2011. – P. 1–16.
6. Introduction to Algorithms / T. H. Cormen, C. E. Leiserson, C. Stein, R. L. Rivest. – Cambridge : The MIT Press, 1990. – 1292 p.
7. Khawaja, H. Application of a 2-D approximation technique for solving stress analyses problem in FEM / H. Khawaja // *Intern. J. of Multiphysics*. – 2015. – Vol. 9. – Iss. 4. – P. 317–324. doi: 10.1260/1750-9548.9.4.317.
8. Metody komputerowe w liniowej mechanice konstrukcji / C. Cichoń, W. Cecot, J. Krok, P. Pluciński. – Kraków : Politechnika Krakowska, 2009. – 428 p.
9. Papadimitriu, Ch. H. Złożoność obliczeniowa / Ch. H. Papadimitriu. – Warszawa : Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2002. – 540 p.
10. Rakowski, G. Metoda Elementów Skończonych w mechanice konstrukcji / G. Rakowski, Z. Kacprzyk. – Warszawa : Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2005. – 434 p.
11. Vandenberghe, L. Applied Numerical Computing (lecture) [Electronic resource] / L. Vandenberghe. – Available at: <http://www.ee.ucla.edu/vandenbe/ee103.html>. – Title from the screen. – Accessed 10.04.2016.
12. Sybis, M. Analiza złożoności metody różnic skończonych (MRS) oraz metody elementów skończonych (MES) na przykładzie elementu belkowego / M. Sybis, A. Smoczkiwicz-Wojciechowska, A. Szymczak-Graczyk // *Projektowanie, eksploatacja, diagnostyka i naprawy wybranych obiektów budownictwa ogólnego i hydrotechnicznego : monografia* / Instytut Budownictwa i Geoinżynierii Uniwersytet Przyrodniczy. – Poznań, 2015. – P. 135–151.
13. Younis, G. Practical method to solve large least squares problems using Cholesky decomposition / G. Younis // *Geodesy and Cartography*. – 2015. – Vol. 41. – Iss. 3. – P. 113–118. doi: 10.3846/20296991.2015.1086118.

М. СЫБИС^{1*}, А. СМОЧКЕВИЧ-ВОЙЦЕХОВСКА^{2*}, А. ШИМЧАК-ГРАЧИК³

^{1*}Каф. «Гражданская и инженерная геология», Познаньский университет естественных наук, ул. Пиатковска, 94, Познань, Польша, 60-649, эл. почта msybis@up.poznan.pl, ORCID 0000-0002-0032-6313

^{2*}Каф. «Гражданская и инженерная геология», Познаньский университет естественных наук, ул. Пиатковска, 94, Познань, Польша, 60-649, эл. почта asw72@up.poznan.pl, ORCID 0000-0002-7202-6678

^{3*}Каф. «Гражданская и инженерная геология», Познаньский университет естественных наук, ул. Пиатковска, 94, Познань, Польша, 60-649, эл. почта agraczyk@up.poznan.pl, ORCID 0000-0002-1187-9087

ВЛИЯНИЕ ОБРАЩЕНИЯ МАТРИЦЫ НА СЛОЖНОСТЬ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Цель. Развитие обширного строительного рынка и стремление проектировать инновационные архитектурные строительные конструкции привели к необходимости создания сложных численных моделей объектов, у которых возрастает сложность вычислений. Цель данного исследования – показать, что выбор правильного метода для решения системы уравнений может улучшить время расчета (уменьшить сложность) на несколько уровней величины (амплитуды). **Методика.** В статье представлен анализ влияния алгоритма обращения матрицы на расчет прогиба в балке с использованием метода конечных элементов (МКЭ). На основе анализа литературы были определены общие методы расчетных систем уравнений. Используя найденные решения, были применены методы исключения переменных Гаусса, разложения LU матрицы и разложения Холецкого с целью определения влияния алгоритма обращения матрицы, используемой для решения комплекса уравнений, на количество выполненных вычислительных операций.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Кроме того, каждый из реализованных методов был в дальнейшем оптимизирован, тем самым уменьшая количество необходимых арифметических операций. **Результаты.** Эти оптимизации были выполнены с использованием определенных свойств матрицы, таких как симметрия или значительное число нулевых элементов в матрице. Результаты анализа представлены для разделения балки на 5, 50, 100 и 200 узлов, для которых был рассчитан прогиб. **Научная новизна.** Главным достижением данной работы является то, что она показывает влияние используемой методики на сложность решения задачи (или, что одно и то же, на время, необходимое для получения результатов). **Практическая значимость.** Разница между лучшим (менее сложным) решением задачи и худшим (более сложным) находится в ряде нескольких порядков величины. Результаты показывают, что при выборе неправильного метода может значительно увеличиться время, необходимое для выполнения расчета.

Ключевые слова: метод конечных элементов; разложение LU матрицы; Холецкий; исключение методом Гаусса; методы разложения; оптимизации

М. СИБІС^{1*}, А. СМОЧКЕВИЧ-ВОЙЦЕХОВСЬКА^{2*}, А. ШИМЧАК-ГРАЧИК³

^{1*}Каф. «Громадянська та інженерна геологія», Познанський університет природничих наук, вул. Пиатковська, 94, Познань, Польща, 60-649, ел. пошта msybis@up.poznan.pl, ORCID 0000-0002-0032-6313

^{2*}Каф. «Громадянська та інженерна геологія», Познанський університет природничих наук, вул. Пиатковська, 94, Познань, Польща, 60-649, ел. пошта asw72@up.poznan.pl, ORCID 0000-0002-7202-6678

^{3*}Каф. «Громадянська та інженерна геологія», Познанський університет природничих наук, вул. Пиатковська, 94, Познань, Польща, 60-649, ел. пошта agracyk@up.poznan.pl, ORCID 0000-0002-1187-9087

ВПЛИВ ЗВЕРНЕННЯ МАТРИЦІ НА СКЛАДНІСТЬ МЕТОДУ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Мета. Розвиток великого будівельного ринку та прагнення проектувати інноваційні архітектурні будівельні конструкції призвели до необхідності створення складних чисельних моделей об'єктів, у яких зростає складність обчислень. Мета даного дослідження – показати, що вибір правильного методу для вирішення системи рівнянь може поліпшити час розрахунку (зменшити складність) на кілька порядків величини (амплітуди). **Методика.** У статті представлений аналіз впливу алгоритму звернення матриці на розрахунок прогину в балці з використанням методу скінченних елементів (МСЕ). На основі аналізу літератури були визначені загальні методи розрахункових систем рівнянь. Використовуючи знайдені рішення, були застосовані методи виключення змінних Гаусса, розкладання LU матриці і розкладання Холецкого з метою визначення впливу алгоритму звернення матриці, використовуваної для вирішення комплексу рівнянь, на кількість виконаних обчислювальних операцій. Крім того, кожен із реалізованих методів був надалі оптимізований, тим самим зменшуючи кількість необхідних арифметичних операцій. **Результати.** Ці оптимізації були виконані з використанням певних властивостей матриці, таких як симетрія або значне число нульових елементів у матриці. Результати аналізу представлені для поділу балки на 5, 50, 100 і 200 вузлів, для яких був розрахований прогин. **Наукова новизна.** Головним досягненням даної роботи є те, що вона показує вплив використовуваної методики на складність вирішення задачі (або, що одне й те ж, на час, необхідний для отримання результатів). **Практична значимість.** Різниця між кращим (менш складним) рішенням задачі і гіршим (більш складним) знаходиться в ряді декількох порядків величини. Результати показують, що при виборі неправильного методу може значно збільшитися час, необхідний для виконання розрахунку.

Ключові слова: метод кінцевих елементів; розкладання LU матриці; Холецький; виключення методом Гаусса; методи розкладання; оптимізації

REFERENCES

1. Chen R., Wu Y., Yan Z., Zhao Y., Cai X.-C. A parallel domain decomposition method for 3D unsteady incompressible flows at high Reynolds number. *Journal of Scientific Computing*, 2014, vol. 58, no. 2, pp. 275-289. doi: 10.1007/s10915-013-9732-x.
2. Balonek K., Gozdur S. Wprowadzenie do metody elementów skończonych. Akademia Górniczo Hutnicza Publ., Kraków, 2009.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

3. Drwal M. Algorytmy algebry numerycznej. Rozwiązanie układu równań liniowych. Wrocław, Politechnika Wrocławska Publ., 2012.
4. Dzierżankowski G., Sitek M. Samouczek Metody Elementów Skończonych. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej Publ., 2012. 106 p.
5. Geijn R.A. van de. Notes on Cholesky Factorization. Report TX 78712 University of Texas at Austin, Department of Computer Science Publ., Austin, 2011. P. 1-16.
6. Cormen T.H., Leiserson C. E., Stein C., Rivest R. L. Introduction to Algorithms. Cambridge, The MIT Press Publ., 1990. 1292 p.
7. Khawaja H. Application of a 2-D approximation technique for solving stress analyses problem in FEM. Intern. Journal of Multiphysics, 2015, vol. 9, issue 4, pp. 317-324.
8. Cichoń C., Cecot W., Krok J., Pluciński P. Metody komputerowe w liniowej mechanice konstrukcji. Kraków, Politechnika Krakowska Publ., 2009. 428 p. doi: 10.1260/1750-9548.9.4.317.
9. Papadimitriu Ch.H. Złożoność obliczeniowa. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Publ., 2002. 540 p.
10. Rakowski G., Kacprzyk Z. Metoda Elementów Skończonych w mechanicznej konstrukcji. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej Publ., 2005. 434 p.
11. Vandenberghe, L. Applied Numerical Computing (lecture). Available at: <http://www.ee.ucla.edu/vandenbe/ee103.html> (Accessed 10 April 2016).
12. Sybis M., Smockiewicz-Wojciechowska A., Szymczak-Graczyk A. Analiza złożoności metody różnic skończonych (MRS) oraz metody elementów skończonych (MES) na przykładzie elementu belkowego. Projektowanie, eksploatacja, diagnostyka i naprawy wybranych obiektów budownictwa ogólnego i hydrotechnicznego: monografia. Instytut Budownictwa i Geoinżynierii Uniwersytet Przyrodniczy Publ., Poznań, 2015. P. 135-151.
13. Younis G. Practical method to solve large least squares problems using Cholesky decomposition. *Geodesy and Cartography*, 2015, vol. 41, issue 3, pp. 113-118. doi: 10.3846/20296991.2015.1086118.

Prof. D. O. Bannikov, Sc. Tech. (Ukraine) recommended this article to be published

Received: 29 Jan., 2016

Accepted: 31 March, 2016

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

М. М. БІЛЯЄВ, Л. Я. МУНТЯН

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ХІМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНОЇ РЕЧОВИНИ
ПРИ АВАРІЇ НА ЗАЛІЗНИЦІ 7

М. М. БІЛЯЄВ, С. Г. ЦИГАНКОВА

КОМПЛЕКС ЧИСЕЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ
КОНЦЕНТРАЦІЇ АЕРОІОНІВ У ПРИМІЩЕННЯХ 16

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

М. С. КРАВЧЕНКО, Н. В. МАРЧЕНКО

СТРАТЕГІЯ ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ 25

Л. В. МАРЦЕНЮК, О. В. ЧОРНОВІЛ, К. В. БІЛА, А. О. УДОВИЧЕНКО, АННУП КУМАР ШАРМА

СТРАХОВИЙ РИНОК УКРАЇНИ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ 36

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

С. І. МУЗИКІНА, М. І. МУЗИКІН, Г. І. НЕСТЕРЕНКО

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ 47

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

В. А. ЛАХНО, В. М. СОБЧЕНКО

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ МІСЬКИМ ПАСАЖИРСЬКИМ АВТОТРАНСПОРТОМ 61

С. М. ОВЧАРЕНКО

АНАЛІЗ ГРАФІКА ВИКОНАНОГО РУХУ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ
ПАТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ»: ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ 70

Ю. Д. ПОЛІСЬКИЙ

ПРО ВИКОНАННЯ СКЛАДНИХ ОПЕРАЦІЙ У НЕПОЗИЦІЙНІЙ СИСТЕМІ
ЧИСЛЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ 78

В. І. ШИНКАРЕНКО, Г. В. ЗАБУЛА

КОНСТРУКТИВНА МОДЕЛЬ АДАПТАЦІЇ СТРУКТУР ДАНИХ В ОПЕРАТИВНІЙ ПАМ'ЯТІ:
ЧАСТИНА II. КОНСТРУКТОРИ СЦЕНАРІЇВ І ПРОЦЕСІВ АДАПТАЦІЇ 88

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

О. М. ПАТЛАСОВ, С. О. ТОКАРЄВ, Є. О. ПАТЛАСОВ

ВСТАНОВЛЕННЯ ДОПУСТИМИХ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ
ПО КРИВОЛІНІЙНИХ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДАХ 98

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Л. І. ВАКУЛЕНКО, Д. М. БОЛОТОВА, С. В. ПРОЙДАК, М. А. ГРИЩЕНКО, І. О. ВАКУЛЕНКО

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ САМОВІДПУСКА НА МІЦНІСТЬ ДИСКА
ЗАЛІЗНИЧНОГО КОЛЕСА ПІСЛЯ ПРИСКОРЕНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ 109

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

О. М. ГІБАЛЕНКО, Т. С. ТРОФИМЧУК

ОЦІНКА ЖИВУЧОСТІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ФАКТОРІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ 119

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Л. О. НЕДУЖА, А. О. ШВЕЦЬ

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ АРМ WINMACHINE
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА РОЗРАХУНКАХ У МАШИНОБУДУВАННІ 129

О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, В. О. КАЛАШНИК, О. А. ШИКУНОВ

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЯК СПОСІБ ПОЛІПШЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ УНІВЕРСАЛЬНИХ ВАГОНІВ 148

| | |
|--|-----|
| О. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, А. В. КІВШЕВА ЗАЛЕЖНІСТЬ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПНЕВМАТИЧНОЇ РЕСОРИ ВІД ПНЕВМАТИЧНОГО ОПОРУ ДРОСЕЛЯ..... | 157 |
| Л. В. УРСУЛЯК, Г. ВАЙЧІУНАС, Я. М. РОМАНЮК, В. ПЕТРЕНКО, К. С. СТЕПЧЕНКОВА ПРО ФОРМУ КРИВОЇ НАПОВНЕННЯ ГАЛЬМІВНИХ ЦИЛІНДРІВ У ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДАХ..... | 165 |
| <i>ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО</i> | |
| В. В. КОВАЛЕНКО, Ю. Л. ЗАЯЦЬ, П. О. ПШІНЬКО, С. В. КОВАЛЕНКО СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ В БЕТОНАХ ПІДРЕЙКОВИХ ОСНОВ | 174 |
| М. СИБІС, А. СМОЧКЕВИЧ-ВОЙЦЕХОВСЬКА, А. ШИМЧАК-ГРАЧІК ВПЛИВ ЗВЕРНЕННЯ МАТРИЦІ НА СКЛАДНІСТЬ МЕТОДУ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ..... | 190 |

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Н. Н. БЕЛЯЕВ, Л. Я. МУНТЯН

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОГО ВЕЩЕСТВА ПРИ АВАРИИ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ 7

Н. Н. БЕЛЯЕВ, С. Г. ЦЫГАНКОВА

КОМПЛЕКС ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА
КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОИОНОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ 16

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

М. С. КРАВЧЕНКО, Н. В. МАРЧЕНКО

СТРАТЕГИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ 25

Л. В. МАРЦЕНЮК, Е. В. ЧОРНОВОЛ, Е. В. БЕЛАЯ, А. А. УДОВИЧЕНКО, АНУП КУМАР ШАРМА

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СТРАХОВОГО РЫНКА УКРАИНЫ 36

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

С. И. МУЗЫКИНА, М. И. МУЗЫКИН, Г. И. НЕСТЕРЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ 47

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В. А. ЛАХНО, В. М. СОБЧЕНКО

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМ ПАССАЖИРСКИМ АВТОТРАНСПОРТОМ 61

С. Н. ОВЧАРЕНКО

АНАЛИЗ ГРАФИКА ИСПОЛНЕННОГО ДВИЖЕНИЯ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ
ПАО «УКРЗАЛИЗНИЦЯ»: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 70

Ю. Д. ПОЛИССКИЙ

О ВЫПОЛНЕНИИ СЛОЖНЫХ ОПЕРАЦИЙ В НЕПОЗИЦИОННОЙ СИСТЕМЕ
СЧИСЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ 78

В. И. ШИНКАРЕНКО, Г. В. ЗАБУЛА

КОНСТРУКТИВНАЯ МОДЕЛЬ АДАПТАЦИИ СТРУКТУР ДАННЫХ В ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ:
ЧАСТЬ II. КОНСТРУКТОРЫ СЦЕНАРИЕВ И ПРОЦЕССОВ АДАПТАЦИИ 88

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

А. М. ПАТЛАСОВ, С. А. ТОКАРЕВ, Е. А. ПАТЛАСОВ

УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ
ПО КРИВОЛИНЕЙНЫМ СТРЕЛОЧНЫМ ПЕРЕВОДАМ 98

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Л. И. ВАКУЛЕНКО, Д. М. БОЛотова, С. В. ПРОЙДАК, М. А. ГРИЩЕНКО, И. О. ВАКУЛЕНКО

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ САМООТПУСКА НА ПРОЧНОСТЬ ДИСКА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА ПОСЛЕ УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ 109

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВИДЫ ТРАНСПОРТА. МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

А. Н. ГИБАЛЕНКО, Т. С. ТРОФИМЧУК

ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ
ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ФАКТОРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ 119

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

Л. А. НЕДУЖАЯ, А. А. ШВЕЦ

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА АРМ WINMACHINE
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАСЧЕТАХ В МАШИНОСТРОЕНИИ 129

| | |
|---|-----|
| А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, В. А. КАЛАШНИК, А. А. ШИКУНОВ МОДЕРНИЗАЦИЯ КАК СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ВАГОНОВ | 148 |
| А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, А. В. КИВИШЕВА ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ РЕССОРЫ ОТ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДРОССЕЛЯ | 157 |
| Л. В. УРСУЛЯК, Г. ВАЙЧИУНАС, Я. Н. РОМАНЮК, В. ПЕТРЕНКО, Е. С. СТЕПЧЕНКОВА О ФОРМЕ КРИВОЙ НАПОЛНЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ ЦИЛИНДРОВ В ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДАХ | 165 |
| <i>ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО</i> | |
| В. В. КОВАЛЕНКО, Ю. Л. ЗАЯЦ, П. А. ПШИНЬКО, С. В. КОВАЛЕНКО СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В БЕТОНАХ ПОДРЕЛЬСОВЫХ ОСНОВАНИЙ | 174 |
| М. СЫБИС, А. СМОЧКЕВИЧ-ВОЙЦЕХОВСКА, А. ШИМЧАК-ГРАЧИК ВЛИЯНИЕ ОБРАЩЕНИЯ МАТРИЦЫ НА СЛОЖНОСТЬ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ | 190 |

CONTENTS

TRANSPORT ECOLOGY

M. M. BILIAIEV, L. YA. MUNTIAN

NUMERICAL SIMULATION OF TOXIC CHEMICAL DISPERSION AFTER ACCIDENT AT RAILWAY7

M. M. BILIAIEV, S. G. TSYGANKOVA

COMPLEX OF NUMERICAL MODELS FOR COMPUTATION
OF AIR ION CONCENTRATION IN PREMISES16

ECONOMICS AND MANAGEMENT

M. S. KRAVCHENKO, N. V. MARCHENKO

STRATEGY OF INNOVATIVE ACTIVITY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES25

L. V. MARTSENIUK, O. V. CHORNOVIL, K. V. BELAYA, A. O. UDOVYCHENKO, ANOOP KUMAR SHARMA

STATE AND PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF INSURANCE MARKET OF UKRAINE36

OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS

S. I. MUZYKINA, M. I. MUZYKIN, G. I. NESTERENKO

STUDY OF WORKING CAPACITY OF THE MARSHALLING YARD47

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AND MATHEMATICAL MODELING

V. A. LAKHNO, V. M. SOBCHENKO

THE AUTOMATIC SYSTEM'S MODEL OF DECISION-MAKING SUPPORT
FOR DISPATCHING CONTROL OF THE CITY PASSENGER TRAFFIC61

S. M. OVCHARENKO

ANALYSIS OF TRAIN SHEET IN THE INFORMATION SYSTEM
OF JSC «UKRZALIZNYTSIA»: PERSPECTIVE70

YU. D. POLISSKY

ABOUT COMPLEX OPERATIONS IN NON-POSITIONAL RESIDUE NUMBER SYSTEM78

V. I. SHYNKARENKO, H. V. ZABULA

CONSTRUCTIVE MODEL OF ADAPTATION OF DATA STRUCTURES
IN RAM. PART II. CONSTRUCTORS OF SCENARIOS AND ADAPTATION PROCESSES88

RAILWAY TRACK

O. M. PATLASOV, S. O. TOKARIEV, YE. O. PATLASOV

ESTABLISHMENT OF THE PERMISSIBLE TRAIN SPEED ON THE CURVED TURNOUTS98

MATERIAL SCIENCE

L. I. VAKULENKO, D. M. BOLOTOVA, S. V. PROYDAK, M. A. GRISCHENKO, I. O. VAKULENKO

INFLUENCE OF SELF-TEMPERING TEMPERATURE ON STRENGTH
OF RAILWAY WHEEL DISK AFTER ACCELERATED COOLING109

NON-TRADITIONAL TRANSPORT MODES. MACHINES AND MECHANISMS

O. M. GIBALENKO, T. S. TROFYMCHUK

METAL STRUCTURES SURVIVABILITY ASSESSMENT WHEN SIMULATING SERVICE CONDITIONS119

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

L. O. NEDUZHA, A. O. SHVETS

APPLICATION OF APM WINMACHINE SOFTWARE FOR DESIGN
AND CALCULATIONS IN MECHANICAL ENGINEERING.....129

O. H. REIDEMEISTER, V. O. KALASHNYK, O. A. SHYKUNOV

MODERNIZATION AS A WAY TO IMPROVE THE USE OF UNIVERSAL CARS148

O. H. REIDEMEISTER, A. V. KIVISHEVA

DEPENDENCE OF AIR SPRING PARAMETERS ON THROTTLE RESISTANCE.....157

| | |
|--|-----|
| L. V. URSULIAK, G. VAICIUNAS, YA. M. ROMANIUK, V. PETRENKO, K. S. STEPCHENKOVA ABOUT WAVEFORM OF BRAKING CYLINDER FILLING IN FREIGHT CARS..... | 165 |
|--|-----|

TRANSPORT CONSTRUCTION

| | |
|--|-----|
| V. V. KOVALENKO, YU. L. ZAYATS, P. O. PSHINKO, S. V. KOVALENKO STRUCTURE FORMATION IN FOUNDATION SLAB CONCRETE | 174 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| M. SYBIS, A. SMOCZKIEWICZ-WOJCIECHOWSKA, A. SZYMCHAK-GRACZYK IMPACT OF MATRIX INVERSION ON THE COMPLEXITY OF THE FINITE ELEMENT METHOD..... | 190 |
|---|-----|

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

До публікації в журналі приймаються статті українською, російською або англійською мовами проблемного, узагальнюючого, методичного характеру, оригінальні наукові, практичні дослідження, які раніше ніде не видавалися.

Матеріали необхідно надавати в друкованому та електронному вигляді у програмі Microsoft Word 2003 або більш ранній версії – файли *.doc (файли *.docx, *.docm не приймаються). Для набору формул використовується MathType 5.

Наукова стаття повинна відповідати вимогам п. 3 Постанови ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003 року.

Матеріали рецензуються членами редакційної колегії журналу та сторонніми незалежними експертами, виходячи з принципу об'єктивності та з позицій вищих міжнародних академічних стандартів якості, та редагуються. Редакція залишає за собою право на стилістичну правку рукопису.

Вимоги щодо обсягу наукових статей, повідомлень, відгуків та рецензій:

- оглядові та проблемні статті – до 45 000 знаків з пробілами (7–10 с.);
- загальні статті за рубриками видання – до 30 000 знаків з пробілами (5–7 с.);
- наукове повідомлення – до 8 000 знаків з пробілами (до 2,5 с.);
- відгук або рецензія – до 6 000 знаків з пробілами (до 2 с.).

Матеріал надається у форматі А4, враховуючи таблиці, ілюстрації, список використаних джерел. Статті, більші за обсягом, можуть бути прийняті до розгляду на підставі рішення редколегії.

Увага! Згідно з міжнародними стандартами якості наукових публікацій необхідним є: наявність авторських розширених і структурованих резюме (рефератів – abstracts), у т.ч. англійською мовою, рецензій, пристатейних списків літератури в романському алфавіті тощо.

Рекомендуємо скористатися правилами до оформлення статей журналу: <http://library.diit.edu.ua/HTMLs/scientists/Vumogu/Vumogu.pdf>.

Для здачі статті до друку автору/авторам необхідно:

1. Для електронної інформації сформувати всі матеріали в п'яти файлах:

- **Перший** – із текстом статті та анотацій з ключовими словами. Назва файлу – прізвище та ініціали автора (першого співавтора) латинськими літерами, наприклад: Ivanov_II_stattia.doc.
- **Другий** – з розширеними відомостями про автора/авторів (прізвище, ім'я, по батькові; посада; науковий ступінь; учене звання; місце роботи або навчання; адреса електронної пошти; номери контактних телефонів). Назва файлу – Ivanov_II_vidomosti.doc.
- **Третій** – рецензія (відсканована). Назва файлу – Ivanov_II_recenziia.jpg.
- **Четвертий** – Експертний висновок (відсканований, складається у вільній формі). Назва файлу – Ivanov_II_vysnovok.jpg.
- **П'ятий** – Ліцензійний договір (відсканований). Назва файлу – Ivanov_II_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.

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, автотранспортних 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 виробників 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 інтеграції економіки, 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.

Для нотаток

.

Наукове видання

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

№ 2 (62) 2016

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – А. І. Миргородська

Комп'ютерне верстання – Л. А. Кобулія

Літературна обробка – О. М. Врублевська

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 24,06. Тираж 300 пр. Зам. № 184

**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.dit.edu.ua, visnik@dit.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)**

№ 2 (62) 2016

(на украинском, русском и английском языках)

Ответственный за выпуск – А. И. Миргородская

Компьютерная верстка – Л. А. Кобулия

Литературная обработка – О. М. Врублевская

Формат 60×84¹/₈. Ус. печат. лист. 24,06. Тираж 300 экз. Зак. № 184

**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.dit.edu.ua, visnik@dit.edu.ua

Адрес участка оперативной полиграфии:

ул. Лазаряна, 2, ком. 1201, г. Днепропетровск, 49010, Украина

Тел.: +38 (056) 47-19-66, факс: +38 (056) 47-19-83



Scientific Edition

**NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU. VISNIK DNIPROPETROVS'KOGO NACIONAL'NOGO
UNIVERSITETU ZALIZNICHNOGO TRANSPORTU**

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

No. 2 (62) 2016

(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 24,06. Circulation 300. Order no 184

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

Address of editor and editorial office

Lazaryan St., 2, r. 267, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Tel.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.dit.edu.ua, visnik@dit.edu.ua

Address of small offset printing office

Lazaryan St., 2, r. 1201, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Tel.: +38 (056) 47-19-66, Fax: +38 (056) 47-19-83



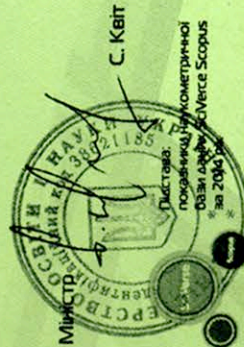
СУЧАСНІ ЗАКЛАДИ ОСВІТИ - 2015
Шоста Міжнародна виставка

CERTIFICATE

якості наукових публікацій
УДОСТОЄНИЙ

**Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна**

Міністерство освіти і науки України



С. Каїт

Національна академія
педагогічних наук України



Президент

В. Кремень

Асоціація користувачів
Української науково-освітньої
телекомунікаційної мережі «Уран»

Голова Ради



200-00



9 772307 348000