

# ВІСНИК

ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ  
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

**BULLETIN**

**OF PRYDNIPROVS'KA  
STATE ACADEMY OF  
CIVIL ENGINEERING  
AND ARCHITECTURE**



**№ 11 листопад 2015 року**

**ДНІПРОПЕТРОВСЬК**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»**

# **ВІСНИК**

**ПРИДНІПРОВСЬКОЇ  
ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ  
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**Заснований у травні 1997 року**

**№ 11 (212)**  
листопад 2015

**Дніпропетровськ 2015**

## РЕДАКЦІЙНА РАДА:

Головний редактор В. І. Большаков, д-р техн. наук  
Заступник головного редактора М. В. Савицький, д-р техн. наук  
Відповідальний секретар Г. П. Євсєєва, д-р наук держ. упр.

В. В. Данішевський, д-р техн. наук, В. М. Дерев'янка, д-р техн. наук, Н. І. Верхоглядова, д-р екон. наук, І. В. Рижков, канд. техн. наук, В. Г. Заренбін, д-р техн. наук, С. В. Іванов, д-р екон. наук, Т. С. Кравчуновська, д-р техн. наук, С. О. Слободянюк, д-р техн. наук, О. В. Челноков, канд. техн. наук, М. В. Шпірько, д-р техн. наук

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

В. Ф. Башев, д-р фіз.-мат. наук, *Державний національний університет ім. Олесь Гончара, Дніпропетровськ*. А. І. Білоконь, д-р техн. наук, *Придніпровська державна академія будівництва та архітектури (ПДАБА), Дніпропетровськ*. В. М. Вадимов, д-р архітектури, *Полтава*. Н. І. Верхоглядова, д-р екон. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. Д. Ф. Гончаренко, д-р техн. наук, *Харківський національний університет будівництва та архітектури (ХНУБА), Харків*. В. В. Данішевський, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. В. М. Дерев'янка, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. В. І. Дубницький, д-р екон. наук, *Донецький економіко-гуманітарний інститут, Донецьк*. М. М. Дьомін, д-р архітектури, *Київський національний університет будівництва та архітектури (КНУБА), Київ*. Г. П. Євсєєва, д-р наук держ. упр., *ПДАБА, Дніпропетровськ*. Є. А. Єгоров, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. В. Г. Заренбін, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. С. В. Іванов, д-р екон. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. С. В. Каламбет, д-р екон. наук, *Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Дніпропетровськ*. Г. М. Ковшов, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. Ю. О. Кірічек, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. Т. С. Кравчуновська, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. В. П. Мироненко, д-р архітектури, *ХНУБА, Харків*. Ю. В. Орловська, д-р екон. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. А. В. Плеханов, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. В. Л. Седін, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. С. О. Слободянюк, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. В. О. Тимохін, д-р архітектури, *КНУБА, Київ*. А. В. Челноков, канд. техн. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. М. В. Шпірько, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпропетровськ*. М. Куна-Бронійовські, проф., *Університет природничих наук, Люблін (Польща)*. Є. Красовський, д-р техн. наук, проф., *Польська Академія Наук, Комісія механізації і енергетики землеробства, Люблін (Польща)*

Збірник наукових праць входить до переліку №1 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук та архітектури згідно з наказом Міністерства освіти і науки України від 07.10.2015 № 1021

Свідоцтво про Державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації – серія КВ № 9702 – видане Державним комітетом телебачення і радіомовлення України 24 березня 2005 р.

Засновник та видавець Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»  
Виходить 12 разів на рік

Рекомендовано до друку вченою радою академії, протокол № 5 від 27.10.2015 р.

Сайт видання [http:// visnyk.pgasa.dp.ua](http://visnyk.pgasa.dp.ua)

Наукометричні бази та електронні бібліотеки, в яких зареєстрований науковий журнал *Інформаційно-аналітичні системи: РІНЦ (eLibrary), InfoBase Index (IBI Factor = 3,96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory, Indexing of International Research Journals (CiteFactor). Електронні бібліотеки та пошукові системи: Bielefeld Academic Search Engine (BASE), CyberLeninka, OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Українські наукові журнали, Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського*

Художній і технічний редактор О. А. Григоренко  
Перекладач Л. В. Михайлова  
Редактор В. Д. Маловик  
Коректор В. Д. Маловик.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ  
«ПРИДНЕПРОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»**

# **ВЕСТНИК**

**ПРИДНЕПРОВСКОЙ  
ГОСУДАРСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ  
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

**Основан в мае 1997 года**

**№ 11 (212)  
ноябрь 2015**

**Днепропетровск 2015**

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Главный редактор	В. И. Большаков, д-р техн. наук
Заместитель главного редактора	Н. В. Савицкий, д-р техн. наук
Ответственный секретарь	Г. П. Евсеева, д-р наук гос. упр.

В. В. Данишевский, д-р техн. наук, В. Н. Деревянко, д-р техн. наук, Н. И. Верхоглядова, д-р экон. наук, И. В. Рыжков, канд. техн. наук, В. Г. Заренбин, д-р техн. наук, С. В. Иванов, д-р экон. наук, Т. С. Кравчуновская, д-р техн. наук, С. А. Слободянюк, д-р техн. наук, А. В. Челноков, канд. техн. наук, Н. В. Шпирько, д-р техн. наук

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

В. Ф. Башев, д-р физ.-мат. наук, *Государственный национальный университет им. Олеся Гончара, Днепропетровск.* А. И. Белоконь, д-р техн. наук, *Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры (ПГАСА), Днепропетровск.* В. М. Вадимов, д-р архитектуры, *Полтава.* Н. И. Верхоглядова, д-р экон. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* Д. Ф. Гончаренко, д-р техн. наук, *Харьковский национальный университет строительства и архитектуры (ХНУСА), Харьков.* В. В. Данишевский, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* В. Н. Деревянко, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* В. И. Дубницкий, д-р экон. наук, *Донецкий экономико-гуманитарный институт, Донецк.* Н. М. Демин, д-р архитектуры, *Киевский национальный университет строительства и архитектуры (КНУСА), Киев.* Г. П. Евсеева, д-р наук гос. упр., *ПГАСА, Днепропетровск.* Е. А. Егоров, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* В. Г. Заренбин, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* С. В. Иванов, д-р экон. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* С. В. Каламбет, д-р экон. наук, *Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, Днепропетровск.* Г. Н. Ковшов, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* Ю. А. Киричек, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* Т. С. Кравчуновская, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* В. П. Мироненко, д-р архитектуры, *ХНУСА, Харьков.* Ю. В. Орловская, д-р экон. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* А. В. Плеханов, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* В. Л. Седин, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* С. А. Слободянюк, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* В. А. Тимохин, д-р архитектуры, *КНУСА, Киев.* А. В. Челноков, канд. техн. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* Н. В. Шпирько, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепропетровск.* М. Куна-Бронийовски, проф., *Университет естественных наук, Люблин (Польша).* Е. Красовский, д-р техн. наук, проф., *Польская Академия Наук, Комиссия механизации и энергетики земледелия, Люблин, (Польша)*

Сборник научных трудов входит в перечень № 1 научных профессиональных изданий Украины, в которых могут публиковаться результаты диссертационных работ на получение ученых степеней доктора и кандидата технических наук и архитектуры в соответствии с приказом Министерства образования и науки Украины от 07.10.2015 № 1021

Свидетельство о государственной регистрации печатного средства массовой информации – серия КВ № 9702 – выдано Государственным комитетом телевидения и радиовещания Украины 24 марта 2005 г.

Основатель и издатель Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»  
Выходит 12 раз в год

Рекомендовано к печати ученым советом академии, протокол № 5 от 27.10.2015 г.

Сайт издания <http://visnyk.pgasa.dp.ua>

Научометрические базы и электронные библиотеки, в которых зарегистрирован научный журнал  
*Информационно-аналитические системы:* РИНЦ (eLibrary), InfoBase Index (IBI Factor = 3,96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory Indexing of International Research Journals (CiteFactor). *Электронные библиотеки и поисковые системы:* Bielefeld Academic Search Engine (BASE), CyberLeninka, OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Украинские научные журналы, Национальная библиотека Украины им. В. И. Вернадского

Художественный и технический редактор Е. А. Григоренко  
Переводчик Л. В. Михайлова  
Редактор В. Д. Маловик  
Корректор В. Д. Маловик.

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE**

**STATE HIGHER EDUCATION ESTABLISHMENT  
PRYDNIPROVS'KA STATE ACADEMY  
OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE**

# **BULLETIN**

**OF PRYDNIPROVS'KA  
STATE ACADEMY  
OF CIVIL ENGINEERING  
AND ARCHITECTURE**

**COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS**

**Established in May, 1997**

**No. 11 (212)**

**November 2015**

**Dnipropetrovsk 2015**

## EDITORIAL BOARD:

Chief Editor	V. I. Bolshakov, Doctor of Engineering Science, Professor
Deputy Chief Editor	M. V. Savvitskyi, Doctor of Engineering Science, Professor
Executive Secretary	G. P. Yevseieva, Doctor of Public Management, Professor

V. V. Danyshevskiy, Doctor of Engineering Science, V. M. Derevianko, Doctor of Engineering Science, N. I. Verkhogliadova, Doctor of Economics, I. V. Ryzhkov, Candidate of Engineering Science, V. G. Zarenbin, Doctor of Engineering Science, S.V. Ivanov, Doctor of Economics, T. S. Kravchunovska, Doctor of Engineering Science, S. O. Slobodianiuk, Doctor of Engineering Science, O. V. Chelnokov, Candidate of Engineering Science, M. V. Shpirko, Doctor of Engineering Science

## EDITORIAL STAFF:

V. F. Bashev, Doctor of Physics and Mathematics, *Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk*. A. I. Bilokon, Doctor of Engineering Science, *Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture (PSACEA), Dnipropetrovsk*. V. M. Vadymov, Doctor of Architecture, *Poltava*. N. I. Verkhogliadova, Doctor of Economics, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. D. F. Goncharenko, Doctor of Engineering Science, *Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv (KSUCEA), Kharkiv*. V. V. Danyshevskiy, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. V. M. Derevianko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. V. I. Dubnytskyi, Doctor of Economics, *Donetsk Institute of Economics and Humanities, Donetsk*. M. M. Diomin, Doctor of Architecture, *Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kyiv*. G. P. Yevseieva, Doctor of Public Management, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. I. A. Yegorov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. V. G. Zarenbin, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. S. V. Ivanov, Doctor of Economics, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. S. V. Kalambet, Doctor of Economics, *Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipropetrovsk*. G. M. Kovshov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. Yu. O. Kirichuk, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. T. S. Kravchunovska, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. V. P. Myronenko, Doctor of Architecture, *KSUCEA, Kharkiv*. Yu. V. Orlovska, Doctor of Economics, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. A. V. Pliexhanov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. V. L. Siedin, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. S. O. Slobodianiuk, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. V. O. Tymokhin, Doctor of Architecture, *KNUCA, Kyiv*. O. V. Chelnokov, Candidate of Engineering Science, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. M. V. Shpirko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipropetrovsk*. M. Kuna-Broniowski, Prof., *University of Life Sciences, Lublin, Poland*. E. Krasowski, Doctor of Engineering Science, Prof., *Polish Academy of Sciences, Commission mechanization and energy of agriculture, Lublin, Poland*

Collection of Scientific Papers is included in	List No. 1 of scientific professional publications of Ukraine, where the results of dissertations for the degree of Doctor and Candidate of Engineering Sciences and Architecture can be published according to the Resolution of the Ministry of science and education of Ukraine No.1021 dated 07.10.2015
Certificate of Incorporation	of the Print Media – Series KV No. 9702 – issued by the State Committee for Television and Radio Broadcasting of Ukraine dated March 24, 2005
Founder & Publisher	State Higher Educational Institution ‘Prydniprov’ska State Academy of Civil Engineering and Architecture’ Issued 12 times a year
Recommended for publication by	the Academic Board of the Academy, Minutes No. 5, 27.10.2015
Journal website	<a href="http://visnyk.pgasa.dp.ua">http:// visnyk.pgasa.dp.ua</a>
Placement of the journal in the international scientometric databases and repositories	<i>Abstracting systems:</i> information and analytical system RSCI (Russian Science Citation Index), InfoBase Index (IBI Factor = 3,96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory Indexing of International Research Journals (CiteFactor). <i>Electronic Libraries:</i> Bielefeld Academic Search Engine (BASE), CyberLeninka, OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Ukrainian scientific journals, The V. I. Vernadsky National Library of Ukraine

Art & Technical Editor O. A. Grygorenko  
Interpreter L. B. Mykhailova  
Editor V. D. Malovyk  
Proofreader V. D. Malovyk.

## У ЦЬОМУ НОМЕРІ

### НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Большаков В. І. ПРИВІТАННЯ РЕКТОРА З 85-РІЧЧЯМ З ДНЯ ЗАСНУВАННЯ ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ .....	10
Большаков В. І., Харченко В. І. ІСТОРІЯ КАФЕДРИ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ .....	12
Большаков В. І., Глушкова Д. Б., Воронова Є. М. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЛАЗЕРНОГО БОРУВАННЯ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ .....	26
Заяць Є. І., Трифонов І. В., Броневицький С. П., Єпіфанцева С. В. ОБҐРУНТУВАННЯ ВАРТОСТІ БУДІВНИЦТВА ЖИТЛА З УРАХУВАННЯМ ЧИННИКА ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ТЕРИТОРІЙ .....	31
Волчук В. М. ПРО ВИБІР МАСШТАБУ ЗОБРАЖЕННЯ СТРУКТУРИ ДЛЯ ЇЇ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ .....	38
Седін В. Л., Бауск Є. А., Довбніч М. М., Загільський В. А. УРАХУВАННЯ ОСНОВИ І СЕЙСМІЧНИХ УМОВ МАЙДАНЧИКА ДЛЯ АНАЛІЗУ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ РЕАКТОРНОГО ВІДДІЛЕННЯ .....	42
Дерев'янок В. М., Максименко А. А., Гришко Г. М. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК ФОСФОГІПСУ ТА РОЗЧИНУ ЗАЛІЗНОГО КУПОРОСУ НА МЕХАНІЗМ ТВЕРДІННЯ МАГНЕЗІАЛЬНО-БІШОФІТНОЇ КОМПОЗИЦІЇ .....	52
Соколов І. А. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОЦІЛЬОВИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ .....	61
Шибко О. М. ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	67
Семенець С. М., Насонова С. С. МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНАТОРНИХ ЗАДАЧ НА ГРАФАХ У ТЕРМІНАХ ЗАДАЧІ МАТЕМАТИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ .....	73
Косолап А. І., Довгопола А. О. ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМ РЕЗЕРВУВАННЯ МЕТОДОМ ТОЧНОЇ КВАДРАТИЧНОЇ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ .....	81

### АРХІТЕКТУРА

Невгомонний Г. У. ПРИНЦИПИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЕНЕРГОАКТИВНИХ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДИНКІВ-КОМПЛЕКСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ .....	86
---	----



## В ЭТОМ НОМЕРЕ

### НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- Большаков В. И.  
ПРИВЕТСТВИЕ РЕКТОРА С 85-ЛЕТИЕМ СО ДНЯ ОСНОВАНИЯ ПРИДНЕПРОВСКОЙ  
ГОСУДАРСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ ..... 10
- Большаков В. И., Харченко В. И.  
ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ..... 12
- Большаков В. И., Глушкова Д. Б., Воронова Е. М.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛАЗЕРНОГО БОРИРОВАНИЯ  
ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ..... 26
- Заяц Е. И., Трифонов И. В., Броневицкий С. П., Епифанцева С. В.  
ОБОСНОВАНИЕ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЬЯ С УЧЕТОМ ФАКТОРА  
ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ ..... 31
- Волчук В. Н.  
О ВЫБОРЕ МАСШТАБА ИЗОБРАЖЕНИЯ СТРУКТУРЫ  
ДЛЯ ЕЕ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ..... 38
- Седин В. Л., Бауск Е. А., Довбнич М. М., Загильский В. А.  
УЧЕТ ОСНОВАНИЯ И СЕЙСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЛОЩАДКИ ПРИ АНАЛИЗЕ  
СЕЙСМОСТОЙКОСТИ РЕАКТОРНОГО ОТДЕЛЕНИЯ ..... 42
- Дервянко В. Н., Максименко А. А., Гришко А. Н.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ФОСФОГИПСА И РАСТВОРА ЖЕЛЕЗНОГО  
КУПОРОСА НА МЕХАНИЗМ ТВЕРДЕНИЯ МАГНЕЗИАЛЬНО-БИШОФИТНОЙ  
КОМПОЗИЦИИ ..... 52
- Соколов И. А.  
ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ..... 61
- Шибко О. Н.  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ..... 67
- Семенец С. Н., Насонова С. С.  
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМБИНАТОРНЫХ ЗАДАЧ НА ГРАФАХ В ТЕРМИНАХ ЗАДАЧИ  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ..... 73
- Косолап А. И., Довгополая А. А.  
ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ТОЧНОЙ  
КВАДРАТИЧНОЙ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ..... 81

### АРХИТЕКТУРА

- Невгомонный Г. У.  
ПРИНЦИПЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГОАКТИВНЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ  
ДОМОВ-КОМПЛЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ВЕТРА ..... 86

## IN THIS ISSUE

### SCIENTIFIC RESEARCH

- Bolshakov V. I.  
GREETING OF THE RECTOR ON THE 85TH ANNIVERSARY OF THE FOUNDING OF  
PRIDNEPROVSKAYA STATE ACADEMY OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE .. 10
- Bolshakov V. I., Kharchenko V. I.  
HISTORY OF THE DEPARTMENT OF MATERIALS AND MATERIALS PROCESSING ..... 12
- Bolshakov V. I., Glushkova D. B., Voronova Ye. M.  
INVESTIGATION OF PECULIARITIES OF PISTON RINGS  
LASER BORATING ..... 26
- Zaiats Yi. I., Trifonov I. V., Bronevytskyi S. P., Yepifantseva S. V.  
SUBSTANTIATION OF THE COST OF HOUSING CONSTRUCTION INCLUDING  
THE FACTOR OF INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF TERRITORIES..... 31
- Volchuk V. N.  
SELECTION OF SCALE OF PICTURE OF STRUCTURE  
FOR ITS MULTIFRACTAL ANALYSIS ..... 38
- Sedin V. L., Bausk E. A., Dovbnich M. M., Zagil'skiy V. A.  
CONCIDERATION OF FOUNDATION AND SEISMIC CONDITIONS OF AREA  
IN ANALYSIS OF SEISMIC RESISTANCE OF REACTOR COMPARTMENT ..... 42
- Derevianko V. N., Maksimenko A. A., Hryshko H. M.  
STUDY OF THE IMPACT OF PHOSPHOGYPSUM ADDITIVE AND FERROUS SULPHATE  
SOLUTION ON THE MECHANISM OF THE MAGNESIA-BISHOFIT COMPOSITION ..... 52
- Sokolov I. A.  
SUBSTANTIATION OF EFFICIENCY OF THE MULTI-PURPOSE CONSTRUCTION  
MACHINERY IN EARTHWORKS ..... 61
- Shibko O. M.  
DESIGN OF INFORMATION SUPPORT ..... 67
- Semenets S. N., Nasonova S. S.  
DESIGN OF COMBINATORICS TASKS ON COLUMNS IN TERMS  
OF TASK MATHEMATICAL PROGRAMMING ..... 73
- Kosolap A. I., Dovgopola A. A.  
STRUCTURE OPTIMIZATION OF RESERVATION BY PRECISE QUADRATIC  
REGULARIZATION ..... 81

### ARCHITECTURE

- Nevgamonniy G. U.  
THE PRINCIPLES OF POWER-RISE BUILDINGS COMPLEXES FORMATION  
USING WIND ENERGY ..... 86

Відповідальність за достовірність інформації, що міститься в друкованих матеріалах,  
несуть автори.

Редколегія не завжди поділяє авторську точку зору.

Комп'ютерну верстку та друк виконано в редакційно-видавничому відділі ПДАБА.

Адреса редакції:

✉ Україна, 49600, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24<sup>а</sup>,  
кімната 607-В (відповідальний секретар), кімната 657 (аналітичний сектор фахових видань).  
☎ (0562) 756-34-98, (0562) 756-34-71  
e-mail: visnik\_psacea@ ukr.net

Підписано до друку 27.10.2015 р. Формат 60×84 1/8.  
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 3,95. Умовн. фарб.-відб. арк. 3,95.  
Обл.-видавн. арк. 6,89. Тираж 300 пр. Зам. 123

---

Ответственность за достоверность информации, представленной в печатных материалах, несут  
авторы.

Редколлегия не всегда разделяет авторскую точку зрения.

Компьютерная верстка и печать выполнены в редакционно-издательском отделе ПГАСА.

Адрес редакции:

✉ Украина, 49600, г. Днепропетровск, ул. Чернышевского, 24<sup>а</sup>,  
комната 607-В (ответственный секретарь), комната 657 (аналитический сектор профессиональных изданий).  
☎ (0562) 756-34-98, (0562) 756-34-71  
e-mail: visnik\_psacea@ ukr.net

Подписано к печати 27.10.2015 г. Формат 60×84 1/8.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,95. Усл. кр.-отг. л. 3,95.  
Уч.-изд. л. 6,89. Тираж 300 пр. Зам. 123

---

Authors shall be responsible for the accuracy of the information  
contained in the printed materials.

Editors do not always agree with the author's point of view.

Desktop publishing and printing are performed in the Editorial and Publishing Department at PSACEA.

Editorial address:

✉ 24a Chernyshevskogo Street, Dnipropetrovs'k, 49600, Ukraine  
room 607-V (Executive Secretary), room 657 (analytical sector of professional periodical).  
☎ (0562) 756-34-98, (0562) 756-34-71  
e-mail: visnik\_psacea@ ukr.net

Send to press on 27 October, 2015. Format 60x84 1/8.  
Offset printing. Conventional quire 3.95. Conventional color imprints 3.95.  
Publisher's signatures 6.89. Number of copies 300. Order 123



### *Шановні колеги, студенти, випускники і друзі академії!*

*Дозвольте від імені ректорату і від себе особисто привітати вас зі знаменною датою –85-річним ювілеєм Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»! Дорогі колеги і друзі, вітаю випускників колишнього ДІБІ – одного з кращих будівельних інститутів у колишньому Радянському Союзі, та працівників і випускників ПДАБА – однієї з провідних академій широкого будівельного профілю в Україні!*

*Від початку становлення у 30-ті роки ХХ століття до сьогодні на долю нашого інституту, а згодом академії, випали найскладніші випробування, адже будівельна галузь завжди стоїть в авангарді розвитку промисловості країни. Саме із цих позицій академія щоденно, щорічно всі 85 років не лише існує, а навчає, досліджує, аналізує, експериментує, словом, живе і розвивається. Незважаючи ні на які економічні чи інші труднощі й складнощі, вчені академії беруть активну участь у вирішенні численних наукових проблем сучасної України. Досліджуємо і даємо рекомендації щодо стану фундаментів усіх АЕС країни; шукаємо оптимальні архітектурні та інженерні рішення з реконструкції п'ятиповерхових будинків перших масових серій (1960); беремо участь у розробленні нових екологічно чистих, енергозберігальних екопоселень, мріємо про позитивні зміни в країні та світі, щоб розбудовувати міста і села для радості, добра і добробуту народу.*

*У сьогоднішній діяльності академії органічно поєднані два напрями – готуємо високоосвічених, високопрофесійних, багатопрофільних інженерів-будівельників і активно ведемо науковий різноплановий пошук тісно співпрацюючи із зарубіжними університетами Європи, Північної і Південної Америки, Африки й Азії.*

*Пройшовши довгий тернистий шлях становлення і розвитку, наша академія сьогодні перетворилася на сучасний навчально-науковий комплекс, до складу якого входить 51 навчально-науковий підрозділ, зокрема: п'ять факультетів, Інститут екології і безпеки життєдіяльності в будівництві, Інститут заочної і дистанційної освіти, Інститут безперервної фахової освіти, Інститут експертизи, проектування та вишукування, Інститут інновацій в будівельній галузі, міжнародний відділ, 17 науково-дослідних лабораторій. Підготовку фахівців за 21 спеціальністю забезпечують 39 кафедр, із яких 26 – випускові. Навчальний процес забезпечують 600 викладачів, із них 67 докторів наук, професорів і 280 кандидатів наук, доцентів. В академії функціонують дві докторські і дві кандидатські спеціалізовані ради з десяти наукових спеціальностей. Щільці за останні п'ять років викладачі, аспіранти, докторанти, співробітники академії і здобувачі захистили 18 докторських і 118 кандидатських дисертацій.*

*Сьогодні вчені академії розвивають і продовжують славні традиції її засновників. Історію нашого вишу творили видатні вчені і педагоги, які зробили вагомий внесок у розвиток вітчизняної науки, будівельної галузі, архітектури, науково-дослідницької і навчально-виховної роботи. Серед них – академік НАН України Г. М. Савін, член-кореспондент Національної академії наук Г. Д. Дібров, професори М. О. Буданов, О. А. Гармаш, С. П. Томелля, Г. К. Міцкевич, А. В. Сільвестров, А. П. Прусаков, П. П. Резніченко, М. Я. Розкін, О. Б. Петров. Традиції, створені старшими поколіннями вчених викладачів, співробітників і студентів нашого навчального закладу, сьогодні успішно примножуються. Наша академія – це сучасний виш, у якому на різних формах навчання опановують будівельну професію близько шести тисяч юнаків і дівчат, у тому числі громадяни країн Африки, КНР, Близького Сходу і країн СНД.*

*Щорічно майже 1 500 студентів академії беруть участь у Всеукраїнській студентській олімпіаді, міжнародних, всеукраїнських і регіональних науково-практичних конференціях і семінарах. І ще не трапи-*

лось жодного випадку, щоб нам було соромно за підготовку наших студентів! Бренд ПДАБА знають усюди. Так, у 2014 – 2015 навчальному році в співавторстві викладачів та студентів опубліковано 270 наукових статей і тез доповідей, отримано 12 патентів України; 76 студентів брали участь у Всеукраїнських і міжнародних конкурсах студентських НДР, 11 із них стали переможцями.

На конкурс студентських наукових праць у рамках стипендіальної програми "Завтра. UA" Фонду В. Пінчука було подано п'ять наукових розробок від кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів. Студенти механічного факультету А. Є. Шудро (наук. кер. – проф. В. І. Большаков) і М. О. Силантьєва (наук. кер. – проф. Д. В. Лаухін) удостоєні іменних стипендій у науковому напрямі "Матеріалознавство". Лише минулого року на міський конкурс «Інтелект – Творчість – Успіх» було подано 14 науково-практичних розробок і отримано вісім дипломів I, II, III-го ступеня в чотирьох номінаціях. У 2014/2015 навчальному році аспіранти, докторанти і здобувачі академії захистили 21 кандидатську і три докторські дисертації. На початок 2015 року в академії працюють 217 молодих учених, з них 55 – кандидати наук, двоє – доктори наук.

Досягнення студентів академії – це результат кропіткої багаторічної роботи професорсько-викладацького складу, постійного вдосконалення навчально-виховного процесу. У нашому виші працює чудовий, дружній, творчий і працездатний колектив. Переконали підтвердження цьому – той факт, що у поточному році наукова діяльність в академії здійснювалася у рамках виконання бюджетної програми фундаментальних досліджень і прикладних розробок, кафедральних тематичних планів, а також включала виконання науково-практичних замовлень для підприємств і організацій області і регіону. Із метою розширення тематики співпраці з ученими різних вишів, академічних інститутів, підприємств і організацій укладено та нині діють 30 договорів про науково-технічну співпрацю. Упродовж звітного року подано 58 заявок на винаходи і корисні моделі, отримано 48 патентів України, а також два свідоцтва про реєстрацію авторських прав. Результати наукових досягнень учених академії у звітному році знайшли своє відображення у 18 монографіях, двох підручниках, 11 навчальних посібниках, а також у 1109 статтях, розміщених у періодичних виданнях і тематичних збірниках, із них 37 – у зарубіжних. У наукометричній базі Scopus на січень 2015 року академія представлена 166 публікаціями і посідає 37-ме місце в рейтингу вишів України. Вчені академії брали активну участь у роботі більше 60 конференцій і семінарів, із них 18 міжнародних.

Я пишаюся і безмежно щасливий, що мені випало працювати з таким колективом! Дозвольте, дорогі друзі, привітати кожного з Вас з ювілеєм, побажати усім великого щастя, здоров'я, нових творчих успіхів, вдячних і розумних студентів!

Щиро дякую випускникам і друзям академії, які завжди підтримують нас, допомагають, надихають на нові дослідження та звершення заради Батьківщини, держави та рідного міста.

Шановні друзі, колеги! Ювілей – не лише час осмислення пройденого шляху, підведення підсумків, а і можливість зробити крок у майбутнє. Не зупиняймося на досягнутому! Ми чітко бачимо наші перспективи, віримо у свої сили, упевнено дивимося в майбутнє, тому, що твердо знаємо: будівельник – це найпошанованіша, найбагатіша, найгуманніша професія на Землі. Не менш прекрасна і професія Наставника, Учителя. І ми щасливі, що вибрали саме цю професію. З ювілеєм вас, дорогі студенти, колеги, друзі! Щастя, миру, терпіння, любові!

Ректор Державного вищого навчального закладу  
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»,  
доктор технічних наук, професор  
Володимир Іванович Большаков

**НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

УДК 378.6:[69+72](477.63)

**ІСТОРІЯ КАФЕДРИ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА  
ТА ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ**БОЛЬШАКОВ В. І.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*,ХАРЧЕНКО В. І.<sup>2\*</sup>, *к. т. н., проф.*

<sup>1</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(0562)745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2\*</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(0562)745-23-72, e-mail: postmaster@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8900-913x

**Анотація.** Кафедру технології металів створено у 1945 році. За своє 70-річне існування вона пройшла всі основні етапи розвитку разом зі своєю альма-матер – Дніпропетровським інженерно-будівельним інститутом (ДІБІ), з 1994 р. – Придніпровська державна академія будівництва та архітектури.

**ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ  
И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**БОЛЬШАКОВ В. И.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*,ХАРЧЕНКО В. И.<sup>2\*</sup>, *к. т. н., проф.*

<sup>1</sup>Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562)745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2\*</sup> Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562)745-23-72, e-mail: postmaster@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8900-913x

**Анотация.** Кафедра технологии металлов создана в 1945 году. За свое 70-летнее существование она прошла все основные этапы развития вместе со своей альма-матер – Днепропетровским инженерно-строительным институтом (ДИСИ), с 1994 г. – Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры.

**HISTORY OF THE DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE AND  
MATERIALS PROCESSING**BOLSHAKOV V. I.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*KHARCHENKO V. I.<sup>2\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Prof.*

<sup>1</sup> Department of Materials science and Materials Processing, State Higher Educational Establishment «Prydneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, Tel. +38(0562)745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2\*</sup> Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment «Prydneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, Tel. +38(0562)745-23-72, e-mail: postmaster@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8900-913x

**Summary.** Department of Metal Technology was established in 1945 year. For its 70<sup>th</sup> year existence the department has passed all of the major stages of development with its alma mater and it is Dnepropetrovsk Civil Engineering Institute (DCEI), then Prydneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture (PGASA since 1994 year).

Кафедру технології металів створено у 1945 році. За своє 70-річне існування кафедра пройшла всі основні етапи розвитку разом зі своєю альма-матер ДІБІ (потім ПДАБА). У 1945 році новоутворена кафедра належала до механічного факультету, який випускав інженерів зі спеціальності «Буді-

вельні машини та устаткування». Головними навчальними дисциплінами кафедри були технологія металів і металознавство та зварювання. У перші роки навчальний процес на кафедрі забезпечували чотири викладачі та дві особи навчально-допоміжного персоналу.

Засновником і завідувачем кафедри був доцент Г. Ф. Дьогтев.

Початок роботи кафедри припав на час післявоєнної відбудови та інтенсивного розвитку нашої країни (1945 – 1949). Відповідно з потребами промисловості і будівництва розширював та поглиблював свою діяльність і ДІБІ. У цей час інститут готує інженерів-будівельників, інженерів-механіків та інженерів-технологів. Окрім денної форми освіти відкриваються вечірній та заочний факультети, розширюється коло спеціальностей, змінюються навчальні плани, з'являються нові дисципліни.

Кафедра технології металів бере активну участь у цій роботі. Збільшується викладацький склад. Спочатку на кафедру прийшли С. Л. Бабченко, І. А. Півненко, В. І. Харченко, пізніше – А. Е. В'язовий, В. В. Савич, Н. П. Рубцов, П. В. Шевченко, Ю. В. Ревін, В. М. Плакун, Ф. Ф. Вашкевич, Ю. І. Хоменко, О. П. Носенко, Л. Н. Гасик, А. Н. Лук'янкова, Л. В. Мухіна. З плином часу викладацький склад змінювався не тільки кількісно, а і якісно: одні йшли в аспірантуру, інші захищали дисертації.

Переломним моментом у житті кафедри став захист Г. Ф. Дьогтевим у 1961 році докторської дисертації і відкриття при кафедрі аспірантури. У той час кафедра виконувала найбільший обсяг госпдоговірних наукових робіт в інституті. Головна роль тут належала Г. Ф. Дьогтеву.

Він народився 19 серпня 1906 року в с. Усох Трубчевського району Орловської (Брянської) губернії (Росія). Закінчив Дніпропетровський металургійний інститут (1933). У ДІБІ працював завідувачем кафедри технології металів (1945 – 1985), професором цієї ж кафедри (1986 – 1988), деканом механічного факультету (1948 – 1956). Основними напрямками його наукової діяльності були: технологічні способи підвищення довговічності деталей машин і обладнання на підприємствах машинобудування та підприємствах із виробництва будівельних матеріалів; теплообмін у нагрівальних установках на металургійних підприємствах. Г. Ф. Дьогтев опублікував близько 200 наукових праць, мав багато учнів і послідовни-

ків. Він – учасник Великої Вітчизняної війни, нагороджений орденом Червоної Зірки, медалями. Помер Григорій Федорович 30 листопада 1988 року (м. Дніпропетровськ). 3 липня 2004 року рішенням ученої ради ПДАБА студентам механічного факультету призначається стипендія імені Г. Ф. Дьогтева.

Усі співробітники кафедри були задіяні на виконання великої кількості науково-дослідницьких робіт, які впроваджувалися у виробництво і супроводжувалися публікацією статей у наукових журналах Москви та Києва. І не випадково саме в ті роки на кафедрі захистили кандидатські дисертації А. Е. В'язовий, О. Р. Матвеев, Ю. В. Ревін, В. І. Харченко, П. В. Шевченко, С. Л. Бабченко.

Кафедра однією з перших у Дніпропетровську почала дослідження, проектування та впровадження печей на газовому паливі, нанесення покриттів в електростатичному полі, дослідження плазмових технологій. Широкою була і географія впровадження результатів досліджень у виробництво: Дніпропетровськ, Дніпродзержинськ, Херсон, Миколаїв, Луганськ, Армавір, Саратов, Астрахань, Курган.

У 1985 році з обранням завідувачем кафедри професора В. І. Большакова починається новий етап її розвитку. З його приходом розширились дослідження з питань матеріалознавства, пов'язані безпосередньо з будівельною індустрією.

У цей період під керівництвом В. І. Большакова проводяться дослідження, розробки, експертизи та вироблення практичних рекомендацій з удосконалення технології контрольованої прокатки і «прямого гарту». У цих дослідженнях і розробках він плідно співпрацює з відомими вченими-матеріалознавцями нашої країни та регіону М. Л. Бернштейном, А. П. Гуляєвим, Ю. М. Тараном-Жовніром, І. Г. Узловим, І. Е. Долженковим, В. К. Флоровим, Л. І. Тушинським, Г. М. Воробйовим, В. В. Калмиком, Ю. І. Пилипченком, Д. П. Пимаховим, а також співробітниками кафедри металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій (ДІБІ) і, звичайно, зі співро-

бітниками своєї кафедри – Г. Ф. Дьогтевим, В. І. Харченком, А. Е. В'язовим, Л. Н. Гасиком, О. П. Носенком, Ф. Ф. Вашкевичем, Л. Н. Дейнеко, Г. Д. Сухомлином, Л. В. Мухіною, О. Ю. Мироновою, з аспірантами А. Н. Лук'янською, С. М. Антоновим, Н. А. Смольяніною, В. Н. Ричаговим, Х. А. Аскеровим, А. Я. Спільник, А. М. Дубиною, І. Я. Гречною, Н. Е. Погрібною.

У наступні роки в інституті створюється і плідно функціонує потужний науковий колектив. Зростає кількість докторів наук, відкриваються Спеціалізовані вчені ради (спочатку по захисту кандидатських, а потім і докторських дисертацій). Як наслідок цієї роботи ректора В. І. Большакова ДІБІ отримує в 1994 році статус Придніпровської державної академії будівництва та архітектури (ПДАБА).

Паралельно розвивається і наукова школа В. І. Большакова, про що говорить список учених, які під його керівництвом захистили кандидатські дисертації (1988 – 1996 гг.): С. М. Антонов (1988); Н. А. Смольянінова (1988); В. Н. Ричагов (1990); Х. А. Аскеров (1992); А. Я. Спільник (1992); А. М. Дубина (1993); І. Я. Гречна (1993); Н. Е. Погрібна (1996).

Заслугою професора В. І. Большакова є створення наукової школи з прикладного матеріалознавства, кандидатської, а потім і докторської рад із матеріалознавства в машинобудуванні. Він засновує і успішно проводить зі співробітниками кафедри постійно діючий семінар із проблем сучасного матеріалознавства. З 1999 року в ПДАБА відкрито спеціальність «Прикладне матеріалознавство». Кафедра, керована В. І. Большаковим, стає науковим і методичним центром у нашому регіоні. Щорічно проводяться «Стародубовські читання» в рамках Міжнародної наукової конференції, Українсько-польський семінар із механіки з виданням доповідей цих конференцій, видається підручник «Матеріалознавство» українською мовою.

Також В. І. Большаков засновує міжвузівський загальноміський семінар із конструкційних матеріалів, що застосовуються у бу-

дівництві, який проводиться на базі кафедр ПДАБА: «Матеріалознавство та обробка матеріалів», «Будівельні матеріали», «Організація і управління будівництвом».

Названі конференції та міжвузівський семінар під активним керівництвом В. І. Большакова успішно працюють, генеруючи все нові наукові ідеї і сьогодні.

Досягнення у науково-дослідницькій роботі кафедри існують, не як окрема самоціль, тобто як результат «чистої» наукової думки, вони тісно пов'язані з навчально-педагогічною діяльністю всіх викладачів. Десять років тому кафедра була переорієнтована на матеріалознавство та будівельне матеріалознавство. Цей перехід дозволив провести впровадження матеріалознавчих методів у будівництво, а також підвищити рівень як дослідницьких робіт, так і навчально-педагогічної діяльності в цілому.

Підвищення професійного рівня викладацького складу відбувається за рахунок знайомства зі світовими досягненнями. Студенти та викладачі кафедри беруть участь в англо-німецько-українському проекті «Прикладне матеріалознавство», учасники якого мають змогу досконально вивчити одну або дві іноземні мови (мовні та спеціалізовані стажування у провідних вузах Європи). Результат цієї підготовки – захист магістерських робіт студентами ПДАБА у європейських університетах під подвійним керівництвом професорів України, Франції, Німеччини, Швеції.

Договір про подвійне дипломування – перший подібний договір, підписаний ПДАБА з провідними іноземними ВНЗ. Він відкриває абсолютно нові горизонти для студентів учасників проекту ПМ. Застосовуючи отримані в стінах рідної академії та TUBAF знання, вони можуть будувати свою професійну кар'єру не тільки в Європі, а й у всьому світі. Працедавці з Маріуполя, Запоріжжя, Дуйсбурга, Зальцгіттера, Сент-Луїса та інших міст відзначають високий професійний рівень випускників кафедри МіОМ.

Доказом цього є і ще одна оригінальна методична знахідка. А саме, видання двома мовами – англійською та українською –



захищених магістерських дипломів. У серії робіт бакалаврів та магістрів були надруковані дипломи студентів кафедри МіОМ: А. В. Михайлової «Дослідження характеристик утомлення конструкційних сталей з різними системами легування»; А. В. Рязанової «Вплив хімічного складу та параметрів контрольованої прокатки на формування структури та комплексу експлуатаційних властивостей сталі 10Г2ФБ»; Д. С. Зотова «Дослідження кінетики розпаду переохолодженого аустеніту конструкційної сталі модифікованої нітридотвірними елементами».

Продовження цього процесу - захист дисертацій співробітниками кафедри також під подвійним керівництвом іноземних та українських професорів. Так, у 2002 році О. В. Данилова захистила дисертацію доктора філософії в Ліонському національному інституті прикладних наук (Франція) під спільним керівництвом професора В. І. Большакова (Україна) і професора К. Еснуга (Франція). Цей процес був продовжений у 2011 році під подвійним керівництвом у Руанському університеті (Франція): В. І. Куксенко захистив дисертацію на здобуття вченого ступеня доктора філософії за спеціальністю «Матеріалознавство». У 2012 році у цьому ж університеті захистила дисертацію О. В. Калохтіна, а у 2013 – у Королівському технічному університеті (м. Стокгольм, Швеція) захистила дисертацію на здобуття вченого ступеня доктора філософії А. В. Рязанова (науковий керівник В. І. Большаков).

Процесу подвійного керівництва науково-дослідницькими роботами звичайно сприяє і те, що професор В. І. Большаков і його наукова школа отримали широке міжнародне визнання. Так, В. І. Большаков обраний: членом Інституту матеріалів (Лондон); членом Товариства чорної металургії (США); дійсним членом Міжнародної інженерної академії (Москва); дійсним членом Асоціації металознавців Росії; дійсним членом Інституту гірських, металургійних та нафтових інженерів Канади; Почесним професором Університету Св. Климента Охридського

(Македонія); членом Нью-Йоркської Академії наук; йому присвоєно звання «Почесний професор Варшавської Політехніки».

Підвищення рівня педагогічної роботи продовжується і в рамках діяльності з підготовки кадрів. Колектив кафедри МіОМ плідно співпрацює з фахівцями кафедр будівельних спеціальностей рідної академії та інших вузів міста. У спільних дослідницьких роботах фахівці кафедри МіОМ успішно втілюють свою методологію у дослідження будівельних матеріалів. Ця співдружність дозволяє виконувати широкий спектр науково-дослідницьких робіт і на їх матеріалах захищати дисертації на стиках двох або кількох наук. Саме за результатами таких досліджень під керівництвом професора В. І. Большакова докторські дисертації захистили: В. М. Ричагов, Л. М. Дейнеко, С. А. Щербак, В. М. Дерев'яно, О. Л. Дворкін, В. В. Данишевський, А. П. Приходько, С. В. Бобирь, М. В. Шпирько.

За результатами цієї дослідницької роботи випущено кілька монографій, а саме:

Большаков В. И. Дисперсно-армированные покрытия строительных конструкций и технологического оборудования / В. И. Большаков, В. Н. Деревяно. Днепропетровск : Gaudeamus, 2001. 231 с.;

Большаков В. И. Асимптотические методы расчета композитных материалов с учетом внутренней структуры / В. И. Большаков, И. В. Андрианов, В. В. Данишевский. Днепропетровск : Пороги, 2008. 196 с.;

Большаков В. И. Структурная теория упрочнения конструкционных сталей и других материалов / В. И. Большаков, Л. И. Тушинский. Днепропетровск : Свидлер А. Л., 2010. 484 с.;

Строительные материалы, модифицированные минеральными дисперсными системами техногенного происхождения / В. И. Большаков, А. П. Приходько, Н. В. Шпирько, Н. С. Строчай, В. Н. Тихонов. Луганск : Изд-во Восточноукр. нац. ун-та им. Владимира Даля, 2012. 202 с.;

Жаростойкие теплоизоляционные материалы на основе неорганических вяжущих и минеральных волокон / [Большаков В. И.,

Шпирько Н. В., Приходько А. П.; Сторчай Н. С., Погостнов А. П.]. Луганск : Изд-во Восточноукр. нац. ун-та им. В. Даля, 2012. – 207 с;

Дубров Ю. И. Пути идентификации периодических многокритериальных технологий на примере технологии производства прокатных валков / Ю. Дубров, В. Большаков, В. Волчук. Saarbrücken : Palmarium Academic Publishing, 2015. 236 с.

Поряд із плідною міжвузівською та міжкафедральною роботою на кафедрі МіОМ проводиться багатопланова діяльність із підготовки власних наукових кадрів та підвищення кваліфікації всіх співробітників. Завдяки цій цілеспрямованій роботі під керівництвом В. І. Большакова захистили кандидатські дисертації: О. В. Бекетов, О. В. Узлов, І. О. Тютєрев, В. І. Куксенко, А. В. Маковська, Н. О. Ротт і докторські Г. Д. Сухомлин та В. Д. Лаухін. Наслідком цієї роботи співробітників кафедри також був випуск трьох монографій:

Большаков В. И. Полигонизация аустенита при контролируемой прокатке / В. И. Большаков, Д. В. Лаухин. Днепропетровск : Изд-во ПГАСА, 2011. 268 с.;

Большаков В. И. Игольчатый феррит строительных сталей / В. И. Большаков, В. И. Куксенко. Днепропетровск : ПГАСА, 2012. 134 с.;

Большаков В. И. Структура и свойства продуктов распада переохлажденного аустенита / В. И. Большаков, А. В. Маковская. Днепропетровск : Изд-во ПГАСА, 2012. 160 с.

Активно продовжується ця робота і сьогодні. Так, докторські дисертації готують чотири докторанти: О. В. Узлов, В. І. Сухомлин, Є. І. Заяць, О. В. Бекетов (доценти); три здобувачі: О. П. Носенко, Т. О. Дергач, О. П. Юшкевич. Кандидатські дисертації по кафедрі матеріалознавства та обробки матеріалів готують: чотири аспіранти кафедри: Т. В. Ткач, Г. В. Дрожевська, Є. О. Грималовська, І. С. Федорова; п'ять здобувачів: О. Б. Загородній (асистент); С. В. Іванцов, Г. О. Чайковська, Т. В. Семенов, В. Д. Лаухін – молодші наукові співробітники.

Свідченням активності в галузі досліджень матеріалів і застосування новітніх технологій є те, що працівники кафедри за останні 10 років отримали близько 100 авторських свідоцтв і патентів України.

Підтвердженням визнання наукових заслуг завідувача кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів професора В. І. Большакова було присудження йому в 1992 році звання заслуженого діяча науки і техніки України, а в 1999 році – Державної премії України в галузі науки і техніки.

З 1999 року академія почала прийом на спеціальність «Прикладне матеріалознавство» і кафедра тепер як базова із цієї спеціальності перейшла до розряду випускових і була перейменована на кафедру матеріалознавства і обробки матеріалів.

Із випускників аспірантури і докторантури при кафедрі сформувалась наукова школа матеріалознавців, очолювана В. І. Большаковим. Ця школа здобула авторитет не тільки в Україні, а й за її межами: в країнах СНД, у Польщі, Македонії, Югославії, Словаччині, Франції та ін.

При кафедрі функціонують чотири науково-дослідні лабораторії: плазмотехнологій і електрометалізації; експериментальних наукових досліджень; рентгеноструктурного аналізу; електронно-мікроскопічних досліджень, а також науково-дослідницька група зміцнення металів.

Лабораторії оснащені обладнанням для випробувань, сучасними термічними пічками, устаткуванням плазменного напилення, електронним і оптичним мікроскопами, рентгеноструктурним аналізатором ДРОН-4-07. На право користування іонізуючими джерелами випромінювання отримано ліцензію Державного управління екології і природних ресурсів.

Слід відзначити кілька унікальних моментів у розвитку кафедри технології металів (ДІБІ 1945 – 1994), а потім матеріалознавства та обробки матеріалів (ПДАБА, 1994 і дотепер). Час багатопланово відбився в біографії як кафедри в цілому, так і у житті кожного її співробітника. Перший унікальний момент – це те, що за 70 років існування кафедри її очолювали лише два

завідувачі – професор Г. Ф. Дьогтев (1945 – 1986) і професор В. І. Большаков (1986 і дотепер). Їх біографії об'єднуються не лише однією кафедрою. При всій відмінності уподобань, характерів і поглядів двох учених, їм обом властиве гостре відчуття свого часу. Вони вміли почути, уловити, розпізнати вимоги, потреби сучасного життя, і не тільки розпізнати, а ще й утілити те, що відчули, у наукові звершення.

У бурхливий час післявоєнної відбудови і подальшого розвитку нашої країни Г. Ф. Дьогтев у першому десятилітті існування кафедри, керуючись вимогами сьогодення, зумів створити високо професійний колектив фахівців. Співробітники кафедри органічно поєднували педагогічну роботу з широкою науково-дослідницькою діяльністю, результати якої плідно використовували багато підприємств України та інших республік СРСР. Ця робота продовжувалась протягом кількох наступних десятиліть.

Кращі традиції поєднання педагогічної та наукової діяльності, які склались у період керівництва Г. Ф. Дьогтева, підхопив В. І. Большаков. Враховуючи потреби вже свого часу, Володимир Іванович направив діяльність кафедри маршрутом, продиктованим новою епохою. Він розробив велику багаторічну програму розвитку кафедри.

У 1961 році Г. Ф. Дьогтев відкрив на кафедрі аспірантуру. А з 1986 року В. І. Большаков розширив дослідження з питань технології металів, пов'язаних із будівництвом; далі кафедральна тематика розробок щорічно поширювалась. Сьогодні колектив співробітників розробляє широкий аспект проблем сучасного інженерного матеріалознавства.

Зараз на кафедрі працюють 17 викладачів: професори: д. т. н. В. І. Большаков – завідувач (з 01.09.1985), д. т. н. Г. Д. Сухомлин (з 01.05.1995), д. т. н. Ю. І. Дубров (з 20.07.1998), д. т. н. Д. В. Лаухін (з 01.12.2000), д. т. н. В. С. Вахрушева (з 15.01.2004), доценти: к. т. н. Ф. Ф. Вашкевич (з 01.11.1967), к. т. н. А. Я. Спільник (з 10.10.1975), к. т. н. І. А. Тютєрев (з 06.06.1994), д. т. н. В. М. Волчук (з 01.09.1999), к. т. н. О. О. Чайковсь-

кий (з 14.02.2000), к. т. н. О. П. Носенко (з 01.07.1987), к. т. н. О. В. Узлов (з 01.03.2004), к. т. н. О. В. Бекетов (з 01.09.2007), к. т. н. Н. О. Ротт (з 01.12.2010), С. В. Іванцов (з 21.11.2006); асистенти: О. Б. Загородній (з 01.09.1992), а також: провідний співробітник кафедри Т. О. Дергач (з 14.04.2012), завідувач лабораторії В. І. Журавель (з 01.09.1966) і старший лаборант О. В. Лясота (з 02.07.2007) лабораторії плазмотехнології; молодші наукові співробітники В. І. Любушкін (з 22.07.1993) і В. Д. Лаухін (з 02.12.2009), інженер кафедри І. А. Трофімова (з 09.2014). Окрім них, на кафедрі працює запрошений з іншого вузу фахівець високого рівня – д. т. н. А. В. Кравченко (з 05.07.2012).

Запрошення фахівців інших вишів, широке співробітництво з відомими вченими – ще одна добра традиція, яку повсякчасно розвиває В. І. Большаков, намагаючись поєднати досвід, ерудицію провідних фахівців з ентузіазмом, науковим пошуком співробітників середнього та молодшого покоління.

Формуючи та розвиваючи свою наукову школу В. І. Большаков у першу чергу спирається на науково-методичну роботу професорів кафедри. Нині, окрім Володимира Івановича, на кафедрі працюють чотири професори.

Професор Ю. І. Дубров почав свою діяльність в академії у лютому 1996 року, працюючи за сумісництвом спочатку на кафедрі технології бетонів і в'язучих, потім на кафедрі екології. У 2000 році Юрія Ісайовича обрано за конкурсом професором кафедри прикладної математики на постійній основі. Під час роботи на цій кафедрі професор Ю. І. Дубров, досвідчений фахівець, брав участь у всіх різновидах викладацької, науково-методичної та дослідницької діяльності. Підготував і читав шість курсів лекцій: «Введення в теорію систем», «Метрологія, стандартизація та уніфікація», «Чисельні методи», «Системи технологій», «Моделювання та прогнозування навколишнього середовища», «Біометрія та біоіндикація». Водночас Ю. І. Дубров вів велику науково-дослідницьку роботу, результати якої публікував у численних

статтях та висвітлював у доповідях на Міжнародних конференціях і семінарах.

Окрім плідної роботи на кафедрі прикладної математики, з 2001 року Юрій Ісайович розробляє і починає читати курси лекцій: «Математичне моделювання та оптимізація технологічних процесів та матеріалів», «Введення в системний аналіз», «Планування наукових експериментів», «Теорія і практика наукових досліджень», «Системний аналіз у технології будівельних матеріалів». Ці курси лекцій Юрій Ісайович читає на кафедрі матеріалознавства, де працює за сумісництвом. Протягом шести років (2001 – 2006) діяльність Ю. І. Дуброва на кафедрі матеріалознавства набувала все більшого розвитку і нарешті у 2006 році його обрано за конкурсом професором кафедри матеріалознавства на постійній основі.

Отож Юрій Ісайович працює на кафедрі матеріалознавства 15 років. Він – високоосвічений фахівець, який легко спілкується з колегами по кафедрі та студентами. Виконує різноманітні види навчальної роботи: читає лекції студентам другого курсу «Математичні методи моделювання та оптимізація технологічних процесів»; третього курсу – «Математичні методи планування експериментів»; четвертокурсникам – «Експертні дослідження причин руйнування матеріалів та інструменту», «Основи наукових досліджень і організація експерименту»; магістрам «Науково-дослідницька робота та застосування математичної методики комп'ютерної обробки результатів досліджень». За всіма цими дисциплінами Ю. І. Дубров проводить практичні роботи, керує переддипломною практикою і підготовкою дипломних робіт.

Юрій Ісайович допомагає колегам у визначенні напрямів їх наукової діяльності. Він – працюючий науковий дослідник, про що свідчать його публікації (160), патенти (20) та підручник для студентів вищих навчальних закладів «Фрактали у матеріалознавстві» (у співавторстві з В. І. Большаковим та В. М. Волчуком).

Слід відзначити ще один напрям діяльності Ю. І. Дуброва. З його появою на кафедрі матеріалознавства збільшилася кількість наукових досліджень та публікацій в центральній пресі. Професор зумів широко впровадити математичні методи в матеріалознавство, що дало змогу вивести на більш високий рівень наукові дослідження на кафедрі. Дослідження Ю. І. Дуброва з оптимізації виробництва чавунних валків, теоретико-інформаційного підходу дооцінювання структури металів, застосування теорії мультифракталів для прогнозу якісних характеристик різних матеріалів, визначення області компромісу механічних властивостей металів та багато інших опубліковані у виданнях НАН України, у вітчизняних та зарубіжних журналах.

Професор Г. Д. Сухомлин почав працювати в академії у 1996 році. Спочатку обіймав посаду старшого наукового співробітника лабораторії електронної мікроскопії кафедри матеріалознавства. Досвідчений фахівець, кандидат технічних наук, Георгій Дмитрович після тривалої роботи у науково-дослідному інституті трубної промисловості перейшов працювати на кафедру матеріалознавства та обробки матеріалів, де брав активну участь у педагогічній та науково-дослідницькій діяльності. Результатом його багаторічної плідної праці був успішний захист докторської дисертації (науковий консультант – професор В. І. Большаков) і присудження йому ВАК України наукового ступеня доктора технічних наук (09.04.2008).

Із 14.07.2008 р. понині Г. Д. Сухомлин працює професором кафедри матеріалознавства, поєднуючи викладацьку діяльність із роботою провідного наукового співробітника лабораторії експериментальних наукових досліджень (НДЧ). За час роботи професор Г. Д. Сухомлин підготував і читає шість різноматематичних курсів-лекцій: «Основи корозії металів та довговічність матеріалів», «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів», «Теорія і технологія контрольованої прокатки будівельних сталей», «Нанотехнології та наноматеріали», «Використання високоміцних матеріалів», «Теоретичні основи та технологія зварювання будівельних ста-

лей підвищеної міцності».

Професор Г. Д. Сухомлин проводить заняття за програмами виробничої та переддипломної практик бакалаврів та спеціалістів; керує дипломними роботами бакалаврів та спеціалістів; у Державній комісії з приймання екзаменів у магістрів та спеціалістів; у Державній комісії із захисту дипломних проєктів та в роботі науково-кваліфікаційної вченої ради Д 08.085.02 зі спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство.

Г. Д. Сухомлин веде постійну навчально-методичну роботу, спрямовану на вдосконалення навчального процесу, підготував перше та друге, доповнене, видання навчального посібника «Атлас структур металлов и сплавов» (у співавторстві – В. І. Большаков, Д. В. Лаухін).

Поряд із викладацькою та науково-методичною роботою професор Г. Д. Сухомлин веде широку дослідницьку діяльність. Він опублікував понад 80 наукових праць, у тому числі має 15 авторських свідоцтв.

Сьогодні одним із головних принципів, що формують пріоритетну наукову тематику кафедри, є виконня робіт під керівництвом д. т. н., проф. Г. Д. Сухомлина: це дослідження структурних перетворень під час термомеханічної обробки низьколегованих сталей та впливу спеціальних низькоенергетичних границь у доєвтектоїдному фериті на структуру і властивості низьковуглецевих сталей; аналіз впливу структури та механічних властивостей на енергетичні характеристики опору руйнуванню високов'язких трубних та будівельних сталей, та розроблення засобів прогнозування якісних характеристик металу.

Доктор технічних наук В. С. Вахрушева – відомий фахівець серед учених-матеріалознавців, в академії працює з 2004 року, поєднуючи діяльність професора кафедри матеріалознавства з багаторічною роботою у науково-дослідному інституті трубної промисловості (1975 – 2006, молодший, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії, відділу, заступник директора з наукової роботи). З 15.04.2012 року. Віра Сергіївна працює професором кафедри матеріалознавства на постійній основі.

В. С. Вахрушева має 11 років педагогічного стажу. Автор та співавтор 150 наукових праць, 15 патентів на винахід, 14 стандартів України, підготувала три навчально-методичні розробки. Після захисту докторської дисертації опублікувала 50 наукових праць, із них 32 наукові статті у фахових виданнях, сім патентів на винахід.

В. С. Вахрушева бере активну участь у багатьох міжнародних наукових конференціях і семінарах, у виконанні державних програм. Підготувала трьох кандидатів наук. У 2010 році прийнята до аспірантури ДВНЗ ПДАБА – під її керівництвом працює один аспірант.

Віра Сергіївна – член експертно-консультативної ради Департаменту ядерної енергетики та атомної промисловості Міністерства палива та енергетики України, член секції «Фізика радіаційних явищ» Національної академії наук України, голова Технічного комітету (ТК-81) «Стандартизація методів контролю механічних, металографічних і корозійних випробувань металопродукції, який функціонує у складі Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики.

Професор В. С. Вахрушева є членом двох учених рад провідних інститутів, а також ученої ради ПДАБА, успішно співпрацює з провідними науково-дослідними закладами: Інститутом чорної металургії (член спеціалізованої ради), Національним науковим центром «Харківський фізико-технічний інститут», є членом редколегії журналу «Питання атомної науки і техніки».

Основна тематика наукових досліджень: матеріали для атомної і теплової енергетики, технології їх виготовлення; розроблення технології та організація в Україні виробництва труб-оболонки твел із цирконієвих сплавів для реакторів типу ВВЕР-1000; корозійностійкі сталі і сплави та методи їх випробування.

В. С. Вахрушева читає лекції та проводить практичні і лабораторні заняття з дисциплін: «Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів», «Теорія процесів формування структури та властивостей конструкційних матеріалів», «Теоретичні основи розробки сучасних будівельних систем та технологія ви-

готовлення виробів для цих систем». Виконує керівництво курсовими, дипломними проектами, здійснює наукову підготовку магістрів та аспірантів. Плідно працює зі студентами, приділяючи значну увагу індивідуальній роботі.

Віра Сергіївна активно займається науковою діяльністю. Вона є керівником договірних робіт із провідними промисловими підприємствами. В 2008 році за рекомендацією вченої ради ПДАБА ВАК України присвоїв Вірі Сергіївні вчене звання професора, а в 2013-му їй присуджено Державну премію України в галузі науки і техніки за роботу «Підвищення ресурсів гірничо-металургійного устаткування на основі інноваційних технологій інженерії поверхні».

Протягом 2011 – 2013 рр. В. С. Вахрушева виконувала науково-дослідницькі роботи із провідними підприємствами трубної галузі. Виконано дослідження впливу технологічних факторів виробництва на структуру текстури і властивості труб із сплавів титану, які використовуються в паливних системах усіх типів літаків «Boeing». У результаті виконання робіт видано рекомендації щодо поліпшення якості труб відповідно до вимог зарубіжних фірм. Професору В. С. Вахрушеві притаманні риси сучасного викладача, науковця, дослідника. Завдяки своєму багаторічному досвіду вона – провідний співробітник кафедри матеріалознавства.

Професор Д. В. Лаухін представляє нову формацію наукових співробітників. Він – вихованець наукової школи В. І. Большакова і водночас представник міцного зв'язку старшого і молодшого поколінь викладачів кафедри.

У 1992 році Дмитро Лаухін, випускник середньої школи № 75, срібний медаліст поступив на факультет ПЦБ. У 1997-му отримав диплом із відзнакою за спеціальністю «Інженер-будівельник» та поступив до аспірантури ПДАБА, яку закінчив у 2000 році. З 2002 по 2003 рік Д. В. Лаухін – інженер I категорії, молодший науковий співробітник, науковий співробітник міжкафедральної лабораторії експериментальних досліджень навчального процесу. У 2002 році Д. В. Лаухін захистив

дисертацію (науковий керівник – В. І. Большаков) і йому присуджено ВАК України (15.01.2003) науковий ступінь кандидата технічних наук. Із 2003 року Д. В. Лаухін працює старшим науковим співробітником лабораторії експериментальних досліджень НДЧ. З наступного року Дмитро В'ячеславович починає працювати за сумісництвом доцентом кафедри матеріалознавства. У квітні 2005-го ВАК України присвоїла Д. В. Лаухіну звання старшого наукового співробітника і він успішно поєднує науково-дослідницьку діяльність (лабораторія) з педагогічною роботою (кафедра матеріалознавства).

Лаухін бере участь у багатьох семінарах та міжнародних конференціях, а також проходить науково-практичне стажування (2004) у Варшавському політехнічному інституті (Польща); у Struers (Копенгаген, Данія, 2005); в Національному інституті прикладних наук INSA (Ліон, Франція, 2006).

У цей період він проводить наукову роботу за темою: «Дослідження перспектив використання маловуглецевих низьколегованих сталей при виробництві будівельних металевих конструкцій». Д. В. Лаухін опублікував понад 50 наукових праць, у тому числі 36 – після захисту кандидатської дисертації. Дмитро В'ячеславович читає лекції, веде практичні та лабораторні заняття зі студентами 2 – 5-го курсів, здійснює керівництво дипломними роботами бакалаврів, спеціалістів, магістрів, а також очолює раду молодих учених академії, працює заступником декана з наукової роботи механічного факультету, керує студентським науковим товариством. Враховуючи різнопланову успішну роботу, Д. В. Лаухіна обрано доцентом кафедри матеріалознавства у серпні 2006 року.

У листопаді 2007-го Д. В. Лаухін вступив до докторантури ПДАБА, яку закінчив у 2010 році. Після закінчення докторантури він продовжує роботу доцента на кафедрі матеріалознавства та веде науково-дослідницьку роботу в лабораторії експериментальних досліджень. У 2012 році успішно захищає докторську дисертацію на тему: «Теоретичні основи формування субструктури, структури і

властивостей товстолистого прокату з низьковуглецевих мікролегованих будівельних сталей» (науковий консультант – В. І. Большаков). 26 вересня 2012 року отримує науковий ступінь доктора технічних наук і у лютому 2013 року його обрано професором кафедри матеріалознавства. У цей час Д. В. Лаухін опублікував понад 100 наукових праць у фахових виданнях та п'ять праць зареєстровано в наукометричній базі даних Scopus, дві монографії, навчальний посібник, 15 навчально-методичних праць та 12 авторських свідоцтв.

Д. В. Лаухін є науковим керівником держбюджетних та госпдоговірних робіт за темами Міністерства освіти і науки України та кафедри матеріалознавства, на високому науково-методичному рівні читає лекції на 2–5-му курсах механічного факультету, здійснює керівництво дипломним проектуванням і практикою. Д. В. Лаухін є заступником декана механічного факультету з наукової роботи та заступником завідувача кафедри матеріалознавства.

Робота професора Д. В. Лаухіна відповідає сучасним вимогам, усі види наукових досліджень він проводить на високому теоретичному і науково-практичному рівні. Дмитро В'ячеславович визнаний одним із найкращих лекторів зі спеціальних дисциплін, а саме: механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів; фізико-хімічні методи аналізу; діагностика та дефектологія матеріалів; технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство.

23 вересня 2014 року рішенням атестаційної колегії Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України Д. В. Лаухіну присвоєно вчене звання професора. Сьогодні Д. В. Лаухін – провідний викладач і науковець. Він бере активну участь у всіх заходах викладацької, науково-методичної та дослідницької роботи як кафедри матеріалознавства, так і академії в цілому.

Розширювати науковий потенціал йому дозволяють виступи на міжнародних науково-практичних конференціях і робота на сучасному електронномікроскопічному устаткуванні під час зарубіжних стажувань

у Варшавському політехнічному університеті (Польща – 2007, 2009, 2011 рр). Плідна співпраця колективу кафедри (відповідальні виконавці доц. О. П. Носенко і проф. Г. Д. Сухомлин) з фахівцями центральної заводської лабораторії ВАТІ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча» над проблемою охолодження розкатів на рольгангу дозволила зібрати наукові дані і опублікувати монографію «Полігонізаційна контрольована прокатка» (автори В. І. Большаков, Д. В. Лаухін). По закінченні цієї роботи А. В. Мурашкін захистив кандидатську дисертацію. Наразі областю наукових інтересів проф. Д. В. Лаухіна є: підвищення міцності будівельних сталей, контрольована прокатка товстого листа, електронна просвічувальна мікроскопія, мікролегуння, голчастий ферит, полігональна субструктура аустеніту, спеціальні межі, елементи наноструктур, Z-напряг.

Завідувач кафедри проф. В. І. Большаков не втомлюється повторювати на численних зустрічах зі студентами, що під час навчання кожний з них повинен на 4 та 5-у курсах точно визначити своє професійне майбутнє, знайти свою кафедру і почати працювати, щоб стати гідним фахівцем. Слідуючи вказівкам свого наукового керівника, цей план повністю здійснив вихованець ПДАБА проф. Д. В. Лаухін.

У минулому п'ятиріччі професорську ланку кафедри доповнювали ще два професори. Понад 10 років на кафедрі плідно працював доктор фізико-математичних наук, професор Геннадій Михайлович Воробйов, високоосвічений фахівець, інтелектуал, прекрасний педагог. До останніх днів життя Г. М. Воробйов висував оригінальні сучасні наукові ідеї і пропозиції. Створена ним рентгенівська лабораторія набула широкої популярності. Г. М. Воробйов був дійсним членом Академії екологічних наук України. У його науковому багажі налічувалося понад 500 друкованих праць, він залишив цілий ряд послідовників, випустивши понад 10 кандидатів і докторів технічних наук.

Змістовною, багатоплановою, високо-професійною була діяльність на кафедрі

МіОМ доктора фізико-математичних наук, професора В. В. Россіхіна. Фахівець найвищого рівня, високоосвічений спеціаліст, інтелектуал, В. В. Россіхін залишив великий науковий спадок. Він був знаний у багатьох країнах світу, плідно співпрацював із Міжнародними організаціями: School on computation-chemistry (Jackson, Mississippi, USA); Army High Performance Computing Research Center (Minneapolis, Minnesota, USA). В останні роки свого життя професор успішно розробляв актуальну наукову тематику. Його роботи «Розрахунки базисних функціоналів іспін-спінової константи молекул твердих тіл», «Модифікація розрахунків ядерного магнітного екранування і постійних спіно-спінового впливу молекул твердих тіл» викликали широкий інтерес, користувались великим попитом спеціалістів і були надруковані в журналах «Chemical physics», «Scientific Israel Technological Advantages».

«Без минулого немає майбутнього». Біографія ветеранів кафедри, тих, чия доля, майже увесь життєвий шлях пов'язані з ДІБІ і ПДАБА, яскраво підтверджують цю істину. Професор В. І. Харченко, доцент Ф. Ф. Вашкевич, старший викладач Ю. І. Хоменко, завідувач лабораторії В. І. Журавель у різні роки були студентами Дніпропетровського інженерно-будівельного інституту. Після закінчення навчання кожен із них пов'язав своє життя з діяльністю *alma-mather*, кожен наполегливо долав свої професійні шаблі.

Віктор Іванович Харченко – старійшина кафедри. Його плідна викладацька та науково-організаційна діяльність (після закінчення навчання, 1949 – 1954 рр.) тривала понад половину століття: асистент (1954 – 1962); аспірант (1962 – 1965); старший викладач (1966 – 1969); захист кандидатської дисертації (1969); доцент (1970 – 1991); проректор ДІБІ (1971 – 1991); професор (1991 – 2013). Сьогодні Віктор Іванович – ветеран, почесний пенсіонер, бере активну участь у житті кафедри, цікавиться життям та зверненнями своїх колег. А його справу в академії продовжує онука, кандидат технічних наук Дар'я Нечепуренко.

Ланку ветеранів кафедри продовжує Федір Федорович Вашкевич. Його робота на кафедрі триває вже майже півстоліття (з 1962 по нині). Федір Федорович був студентом ДІСІ (1957 – 1962), у 1964 році вступив до аспірантури по кафедрі технології металів. Після закінчення аспірантури працював на рідній кафедрі асистентом (1967 – 1974). У 1973 році захистив кандидатську дисертацію. У 1974-му його було обрано доцентом кафедри технології металів. З 1994 року і понині – доцент кафедри матеріалознавства. Протягом своєї роботи Федір Федорович за традицією своєї кафедри брав активну участь у житті ДІБІ. На громадських засадах був заступником завідувача кафедри (проф. Г. Ф. Дьогтев), заступником декана механічного факультету (проф. В. Г. Заренбін) із наукової роботи та багаторічним куратором студентських груп.

Справжнім вихованцем, а також носієм кращих традицій кафедри був Юрій Іванович Хоменко. Його робота тривала майже 45 років (1968 – 2013). У 1968 році після служби в армії (військовий будівельник) Юрій Іванович почав працювати на кафедрі технології металів, спочатку лаборантом, потім навчальним майстром. Свою роботу поєднував із навчанням, був студентом вечірнього факультету ДІБІ. Після закінчення навчання працював асистентом кафедри технології металів (1982 – 1992). У 1992 – 2013 роки був старшим викладачем кафедри матеріалознавства. Роботу викладача Юрій Іванович успішно поєднував з діяльністю заступника декана механічного факультету (1986 – 2013). Юрій Іванович щира, комунікабельна людина, завжди знаходить спільну мову з колегами та студентами.

Майже півстоліття триває безперервна робота на кафедрі завідувача лабораторії плазмотехнологій В. І. Журавля. За роки напруженої праці в академії Володимир Іванович закінчив аспірантуру ДІБІ (1966 – 1969) за спеціальністю «Обробка металів тиском», потім працював старшим інженером НДЧ кафедри технології металів. Брав активну участь у створенні та організації дослідницьких робіт у лабораторії плазмотехнологій. З листопада 1971 року



дотепер він завідує цією лабораторією. Протягом 1970–1990 років Володимир Іванович займався впровадженням досліджень науковців кафедри у виробництво (завод порошкової металургії, м. Бровари; завод дорожніх машин, м. Бердянськ, автозавод ім. Орджонікідже, м. Кутаїсі). У травні 1991 року рішенням Вченої ради ДБІ В. І. Журавля було обрано старшим науковим співробітником НДЧ лабораторії плазмотехнологій. На той час Володимир Іванович опублікував 36 наукових праць, отримав шість авторських свідоцтв. У 1995 році він повернувся до завідування лабораторією плазмотехнологій, де веде науково-практичну роботу зі студентами та науковцями кафедр матеріалознавства і понині.

Четверо людей, чотири долі і одна кафедра. Майже півстоліття життя, поєднаного однією справою.

Плідна науково-дослідницька робота членів кафедри тісно пов'язана з великою кількістю підприємств. Під керівництвом доцента О. П. Носенка виконуються такі програми довгострокової співпраці: з металургійним комбінатом ПАО «МК Азовсталь» – Програма з визначення причин відсортовування листового прокату стану 3600 по ІІІГ на штрипсових марках сталі. Виконавці: доц. О. П. Носенко, асп. І. С. Федорова; з металургійним комбінатом ПАО «ММК ім. Ілліча» – Програма науково-дослідницьких робіт згідно з договором на надання послуг між ПАО «ММК ім. Ілліча» та ПДАБА (м. Дніпропетровськ). Мета цієї програми – апробація нової методики оцінки опірності крихкому руйнуванню конструкційних сталей, вживаних у будівництві. Виконавці: доц. О. П. Носенко, асп. І. С. Федорова.

Можливість здійснення цих програм обумовлена «Методикою проведення випробувань на розтягування за температур для визначення характеристик крихкої міцності, механічної стабільності і оцінки якості конструкційних сталей», розробленою доктором технічних наук, проф. В. І. Большаковим, доктором фізико-математичних наук С. А. Котречко.

На металургійному комбінаті «Криворіжсталь» виконується робота з вивчення властивостей термічно зміцненої стержневої арматури з прокатного нагріву в потоці безперервного прокатного стану.

Також фахівці кафедри досліджують проблеми зберігання та модернізації масових типових три – п'ятиповерхових житлових будинків, збудованих у великій кількості в 1960 – 1970-х роках в Україні та в колишньому СРСР. Дослідження присвячені пошуку можливостей найбільш ефективних шляхів надбудови будь-яких існуючих малоповерхових будівель.

Науково-дослідницькі роботи виконувались згідно з договорами з підприємствами КБ «Прогрес» м. Запоріжжя і «Дніпроспецмаш» м. Дніпропетровськ. Для вищезначених підприємств були розроблені нові жаростійкі матеріали для захисту газотурбінних двигунів, котрі дозволяють підвищити надійність і довговічність турбін. Технологію отримання захисних покриттів упроваджено на підприємстві ЗМКБ «Прогрес» і ПО «Мотор Січ».

Проведено роботи з інженерно-технічного обстеження будівельних конструкцій та авторського нагляду згідно з розробленими методиками зі знищення зон знеміцнення під час повторного нагрівання та виключення впливу підвищених температур на руйнування бетону в умовах реабілітації та повторного застосування будівельних конструкцій.

Науково-дослідницька діяльність, робота з підготовки та підвищення кваліфікації кадрів, зв'язок із промисловими підприємствами – всі ці напрями у діяльності кафедри об'єднуються однією метою: поліпшення навчально-педагогічного процесу. Як результат – кафедра матеріалознавства і обробки матеріалів перейшла до розряду випускових. Її студенти, магістри та аспіранти беруть участь у багатьох міжнародних конференціях, всеукраїнських конкурсах та стають лауреатами іменних стипендій, у тому числі: лауреати стипендіальної програми «Завтра.UA» Фонду Віктора Пінчука: Т. В. Семенов (2009); О. О. Шиловська (2009); А. Є. Щудро (2011, 2012, 2013);

М. О. Силантьєва (2013). Лауреати іменних стипендій: Іменна стипендія ім. Г. М. Дьогтева – М. В. Богачова (2009), В. Ю. Ковалінська (2011), О. О. Кривцова (2011, 2012), Р. Є. Щудро (2012, 2013, 2014); Іменна стипендія ім. К. Ф. Стародубова – О. В. Забігайло, Н. В. Опанасенко, А. О. Камлик, Л. О. Борисова, Н. Я. Голець (2009), І. С. Федорова (2011, 2012), А. В. Корж (2011, 2012), А. О. Чемелюх (2011), К. П. Щербань (2011), О. А. Руденок (2011), А. Ю. Кутайло (2011), Є. О. Тарасова (2011, 2012), А. В. Зелена (2011), О. Г. Шелег (2012), О. М. Фалько (2012, 2013), А. Є. Щудро (2012, 2013), М. О. Силантьєва (2012, 2013), І. С. Буриккіна (2012, 2013), О. С. Чуян (2012, 2013, 2014), А. А. Кузова (2013, 2014), Г. М. Банна (2014), А. О. Іванова (2014), О. Ю. Анохіна (2014), В. С. Кавеліна (2014); Стипендія ректора «За значні досягнення в навчанні та науковій діяльності» – А. М. Крушинська (2009), А. В. Машковська (2014). Лауреати Всеукраїнського конкурсу студентських наукових праць із природничих, технічних і гуманітарних наук: Т. В. Семенов (2009) – диплом І ступеня; Ю. Л. Сніжковська (2009) – диплом III ступеня; Т. В. Семенов (2010 р.) – диплом І ступеня.

Розширюються наукові зв'язки з КТН (Стокгольм, Швеція), INSA Ліон, INSA Руан (Франція). Найтісніші зв'язки кафедра має з TU Bergakademie Freiberg, Німеччина. Так, у грудні 2008 року був підписаний «Меморандум про взаєморозуміння» на рівні ректорів обох ВНЗ. Перший аспірант мав можливість виконувати свою дисертаційну роботу під подвійним керівництвом із німецької та української сторін.

У межах програми LeonhardEuler три магістри спеціальності ПМ пройшли місячне стажування в Technische Universität Bergakademie Freiberg і підготували матеріали для магістерських робіт. У жовтні – листопаді 2012 року доцент кафедри МіОМО. В. Узлов пройшов стажування у Гірничотехнічному університеті м. Фрайберг (Німеччина).

В межах даного стажування було підготовлено угоду про подвійне диплому-

вання між кафедрою МіОМ та Institut für Eisen- und Stahltechnologie, яку урочисто підписали ректор ПДАБА, д. т. н., проф. В. І. Большаков і ректор Technische Universität Bergakademie проф. Мейер. Уперше в історії ПДАБА студенти мають змогу отримати разом із дипломом ПДАБА диплом престижного європейського ВНЗ. Перші четверо студентів спеціальності ПМ почали навчання за даною програмою з 01.10.2012 року. У лютому 2014-го відбувся захист першого диплома у Фрайбергу магістром А. В. Кривцовою.

Для успішного забезпечення навчального процесу викладачі кафедри плідно працюють над видаванням підручників, серед яких найбільш значущі:

Матеріалознавство / В. І. Большаков, О. Ю. Береза, О. Ю. Миронова, В. І. Харченко. Канада : Базіліан Прес, 1998. 216 с.;

Большаков В. І. Прикладне матеріалознавство / В. І. Большаков, О. Ю. Береза, В. І. Харченко. 2-е вид. Дніпропетровськ : Дніпро-VAL, 2000. 292 с.;

Большаков В. І. Термическая обработка стали и металлопроката / В. И. Большаков, И. Е. Долженков, В. И. Долженков. Днепропетровск : Gaudeamus, 2002. 271 с.;

Большаков В. И. Технология термической и комбинированной обработки металлопродукции / В. И. Большаков, И. Е. Долженков, В. И. Долженков. Днепропетровск : Gaudeamus, 2002. 385 с.;

Большаков В. І. Кристалографія, кристалохімія, мінералогія / В. І. Большаков, Л. С. Кривуша. Дніпропетровськ : Gaudeamus, 2002. 231 с.;

Большаков В. И. Основы формообразования стальных каркасов многоэтажных и высотных зданий / В. И. Большаков, М. М. Жербин, О. В. Разумова; ред. М. М. Жербин. Днепропетровск : ПГАСА, 2003. 123 с.;

Большаков В. И. Строительное материаловедение : учеб. пособие для студ. строит. спец. вузов / В. И. Большаков, Л. И. Дворкин. Днепропетровск : Дніпро-VAL, 2004. 677 с.;

Большаков В. И. Оборудование термических цехов, технологи термической и

комбинированной обработки металлопродукции : учебник / В. И. Большаков, И. Е. Долженков. Днепропетровск : ПДАБА, 2008. 912 с.;

Большаков В. И. Использование сталей повышенной прочности в новом высотном строительстве и реконструкции : учеб. пособие / В. И. Большаков, О. В. Разумова. Днепропетровск : Пороги, 2008. 214 с.;

Большаков В. И. Материалознаводство будівельне. Розрахунки. Задачі. Приклади : навч. посіб. / В. И. Большаков, В. М. Глущенко, О. В. Молчанов. Дніпропетровськ : ПДАБА, 2008. 278 с.;

Большаков В. И. Атлас структур металлов и сплавов : учеб. пособие / В. И. Большаков, Г. Д. Сухомлин, Д. В. Лаухин. Днепропетровск : ПДАБА, 2010. 174 с.;

Большаков В. И. Оборудование термических цехов, технологи термической и комбинированной обработки металлопродукции : учебник для студ. вузов / В. И. Большаков, И. Е. Долженков, А. В. Зайцев. 2-е изд., перераб. и доп. Днепропетровск : Днепр-VAL, 2010. 619 с.;

Технологія обробки матеріалів : навч. посіб. для студ. спец. «Прикладне матеріалознавство» / В. И. Большаков, В. И. Марченко, Ф. Ф. Вашкевич, О. П. Носенко, І. А. Тютєреєв, Ю. І. Хоменко. Дніпропетровськ : ПДАБА, 2012. 160 с.;

Большаков В. И. История развития термического упрочнения проката : монография. Днепропетровск : ПГАСА, 2012. 386 с.;

Дубров Ю. І. Шляхи ідентифікації періодичних багатокритеріальних технологій / Дубров Ю. І., Большаков В. І., Волчук В. М. Дніпропетровськ, 2015. 236 с.

Вчена рада ДВНЗ ПДАБА прийняла рішення про заснування збірника наукових праць «Металознавство та термічна обробка

матеріалів». Головним редактором призначено проф., д.т.н. В. І. Большакова.

Про високий науково-технічний рівень написаних на кафедрі підручників свідчать нагороди, яких вони були удостоєні в різних конкурсах. Так, за навчальний посібник «Металловедение и сварка строительных сталей» авторам (В. І. Большаков, А. М. Лук'янська, В. І. Харченко, Ф. Ф. Вашкевич) була присуджена ІІІ премія Держкомітету СРСР з народної освіти за результатами Всесоюзного конкурсу на кращий навчальний посібник, що визначає науково-технічний прогрес.

У 1999 році на І обласному конкурсі підручник «Материалознаводство» (автори В. І. Большаков, О. Ю. Береза, О. Ю. Мирнова, В. І. Харченко) посів І місце в номінації «Підручник», а в 2000 році І місце було присуджене за підручник «Прикладне матеріалознаводство» (автори В. І. Большаков, О. Ю. Береза, В. І. Харченко).

За період 2009 – 2014 років викладачі кафедри опублікували два підручники, чотири навчальні посібники, 13 монографій, 257 наукових статей, 26 методичних вказівок.

Навчальний процес на кафедрі стовідсотково забезпечений робочими та навчальними програмами, підручниками. Кафедра активно втілює в навчальний процес комп'ютерні програми для виконання розрахунків у курсових та дипломних проектах, для контролю знань студентів, використання сучасних ПОЕМ, підвищує рівень проведення лекційних, практичних та лабораторних занять.

Незважаючи на солідний вік колектив кафедри МіОМ, очолюваний професором В. І. Большаковим, має великі плани, які базуються на обраній триєдності – навчально-педагогічній, науково-дослідницькій роботі та підвищенню кваліфікації кадрів.

UDC 621.793

## INVESTIGATION OF PECULIARITIES OF PISTON RINGS LASER BORATING

BOLSHAKOV V. I.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
GLUSHKOVA D. B.<sup>2\*</sup>, *Cand. Sc (Tech)., Ass. Prof.*,  
VORONOVA Ye. M.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech), Ass. Prof.*

<sup>1</sup> Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment «Prydneprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, Tel. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2\*</sup> Department of Technology of Metals and Material Science, Kharkiv National Automobile and Highway University (KhNAHU), 25, Petrovsky str., Kharkiv 61002, Tel. +38(057)707-37-92.

<sup>3</sup> Department of Foreign Languages № 1, Kharkiv National Automobile and Highway University (KhNAHU), 25, Petrovsky str., Kharkiv 61002, Tel. +38(057)707-37-21.

**Abstract. Problem formulation.** Piston rings are subject to wear while in operation. Insufficient wear resistance of materials limits the growth of machines productivity as well as the terms of their exploitation. The required complex of properties of piston rings made of cast iron cannot be always reached by applying traditional methods of heat treatment or chemical heat treatment processing. Thus, application of traditional borating methods associated with diffusion of boron into the solid phase leads to the formation of the working layer exhibiting high brittleness. Therefore, the problem of increasing the wear resistance of piston rings without embrittlement is challenging. The use of laser heating during borating provides the formation of a new layer with special properties. However, the optimum properties can be achieved only after determining the relationship between the parameters of running a process and the depth of the borated layer. **Goal of research.** To determine the influence of laser heating parameters on the depth of the borated layer, as the properties of piston rings depend on the depth of the latter. **Conclusions.** Increase in the speed of displacing parts during laser heating reduces the depth of the borated layer, and increase of the spot diameter enhances the depth of the layer. The phases and structural components of the borated layer were interpreted by means of X-ray and metallographic methods. The results of investigations can be applied to other machine parts, which are subject to intensive wear.

**Key words:** piston rings, borated layer, depth, structure, laser heating

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЛАЗЕРНОГО БОРУВАННЯ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ

БОЛЬШАКОВ В. І.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*,  
ГЛУШКОВА Д. Б.<sup>2\*</sup>, *к. т. н., доц.*,  
ВОРОНОВА Є. М.<sup>3</sup>, *к. т. н., доц.*

<sup>1</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCIDID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2\*</sup> Кафедра технології металів та матеріалознавства, Харківський національний автомобільно-дорожній університет», вул. Петровського, 25, 61002, Харків, Україна, тел. +38(057)707-37-92.

<sup>3</sup> Кафедра «Іноземних мов № 1», Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ), вул. Петровського, 25, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (057) 707-37-21.

**Анотація. Постановка проблеми.** Поршневі кільця у процесі експлуатації зношуються. Недостатня зносостійкість матеріалів затримує зростання продуктивності машин і терміну їх експлуатації. Не завжди потрібний комплекс властивостей поршневих кілець, виготовлених із чавуну, може бути досягнутий традиційними методами термічної або хіміко-термічної обробки. Так, застосування традиційних способів борування, пов'язаних із дифузійною бору в тверду фазу, зумовить формування робочого шару, щонаєвисокукрихкість. Тому актуальною є проблема підвищення зносостійкості поршневих кілець без окрихчування. Використання лазерного нагріву при боруванні забезпечує утворення нового шару з особливими властивостями. Однак оптимальні властивості можуть бути досягнуті тільки після встановлення зв'язку між параметрами проведення процесу і глибиною борування шару. **Мета дослідження.** Встановити вплив параметрів лазерного нагріву на глибину шару борування, так як властивості поршневих кілець залежать від глибини останнього. **Висновки.** Збільшення швидкості переміщення деталі в процесі лазерного нагріву зменшує глибину шару борування, а підвищення діаметру плями сприяє зростанню глибини шару. Рентгенографічним і металографічним методами розшифровано фази і структурні складові шару борування. Результати досліджень можуть бути поширені і на інші деталі, що підлягають інтенсивному зношуванню.

**Ключові слова:** поршневі кільця, шар борування, глибина, структура, лазерний нагрів

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛАЗЕРНОГО БОРИРОВАНИЯ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ

БОЛЬШАКОВ В. И.<sup>1</sup>, *д. т. н., профессор,*

ГЛУШКОВА Д. Б.<sup>2\*</sup>, *к. т. н., доцент,*

ВОРОНОВА Е. М.<sup>3</sup>, *к. т. н., доцент*

<sup>1</sup> Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCIDID: 0000-0003-0790-6473

<sup>2\*</sup> Кафедра «Технологии металлов и материаловедения», Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет», ул. Петровского, 25, 61002, Харьков, Украина, тел. +38(057)707-37-92.

<sup>3</sup> Кафедра «Иностранных языков № 1», Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет (ХНАДУ), ул. Петровского, 25, 61002, Харьков, Украина, тел. +38(057)707-37-21.

**Аннотация. Постановка проблемы.** Поршневые кольца в процессе эксплуатации подвергаются износу. Недостаточная износостойкость материалов лимитирует рост производительности машин и сроков их эксплуатации. Не всегда требуемый комплекс свойств поршневых колец, изготовленных из чугуна, может быть достигнут традиционными методами термической или химико-термической обработки. Так, применение традиционных способов борирования, связанных с диффузией бора в твердую фазу, приводит к формированию рабочего слоя, обладающего высокой хрупкостью. Поэтому актуальной является проблема повышения износостойкости поршневых колец без охрупчивания. Применение лазерного нагрева при борировании обеспечивает образование нового слоя с особыми свойствами. Однако оптимальные свойства могут быть достигнуты только после установления взаимосвязи между параметрами проведения процесса и глубиной борированного слоя. **Цель исследования.** Установить влияние параметров лазерного нагрева на глубину борированного слоя, так как свойства поршневых колец зависят от глубины последнего. **Выводы.** Возрастание скорости перемещения детали в процессе лазерного нагрева уменьшает глубину борированного слоя, а увеличение диаметра пятна увеличивает глубину слоя. Рентгенографически и металлографически расшифрованы фазы и структурные составляющие борированного слоя. Результаты исследований могут быть распространены и на другие детали, подвергающиеся интенсивному износу.

**Ключевые слова:** поршневые кольца, борированный слой, глубина, структура, лазерный нагрев

**Problem formulation.** One of the ways to improve the performance properties of cast iron piston rings that are subject to wear is boriding. However, the use of traditional boriding methods associated with the diffusion of boron into the solid phase leads to the formation of the active layer exhibiting high friability. Therefore, the problem of developing a different method of hardening the surface that would not result in embrittlement is challenging. Implementation of such a process may be carried out, using laser heating with surface layer melting. However, the use of such a method may be offered to be used in production only after a detailed study of the relationship between the parameters of conducting the process and the depth of the layer, as well as the study of features of structure formation under specific conditions of laser boriding. The properties of the product that the borated layer was deposited on depend on the depth of the latter.

**Analysis of publications** shows that there have not been developed any techniques of increasing the wear resistance of piston rings by boriding conducted without using traditional

methods, but applying recent technologies. In sources [1-3] it is proposed to increase the durability either by conventional boriding, or by laser treatment. However, there is no association of these two processes.

Implementation of such a process may be carried out by determining the relationship between the parameters of laser heating and the depth of the borated layer.

**Goal.** The objective of this work was to determine the influence of laser-exposure parameters on the depth of the borated layer, and to reveal the characteristics of structure formation of such layers.

**Materials and methods of research.** The material of study was high-strength cast iron containing C = 3,47%, Si = 2,15%, Mn = 1.36%. After preliminary treatment it had a perlite-ferrite structure (85-90% perlite). The spheroidal graphite size corresponds to 3 points.

The laser treatment was conducted using the continuous CO<sub>2</sub> laser. At constant irradiation rate the speed of sample displacement varied in the range of 2-4 mm/s. The thickness of the boron wash was 0.15 mm and 0.30 mm. Condi-

tional defocus (Fcond) allowed changing the diameter of the spot of irradiation from 2 to 4 mm. A mixture of amorphous boron with acetone and zapon varnish was used as a wash.

The structure, the phase composition, the depth of the borated layer was studied by optical-microscopy, using conventional and staining etching as well as X-ray analysis.

**Research findings and on-judgment.** By etching with 4% solution of nitric acid, revealing the structure of the entire layer, it was established that the change in the structure of the metal as a result of boron doping occurs only in the reflow zone. Study of the profile of the reflow zone band edge indicates that a deeper penetration of the metal matrix occurs around graphite encrusting matter that stirs up waves around the border.

Fig. 1 shows the dependence of the borated layer depth on the speed of sample displacement for two cases - at wash thickness 0.15 and 0.30 mm (curve 2 and 1 respectively).

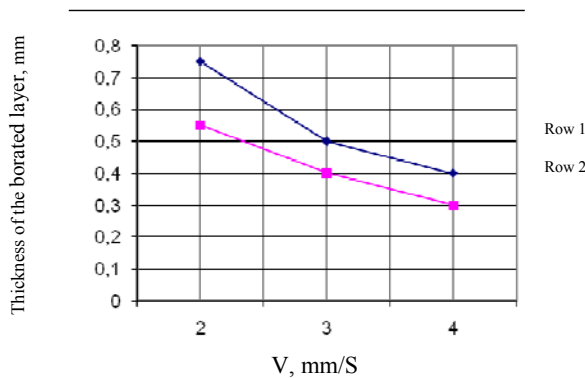


Fig. 1. Dependence of the borated layer depth on the speed of sample displacement:  
1 – thickness of wash 0.3 mm;  
2 – Thickness of wash 0,15 mm.

The graph shows that with the increase in the velocity of sample displacement the depth of the borated layer decreases. Such a dependence is observed both at 0.15 mm thickness of wash, and at thickness of 0.30 mm. With all the speed of sample displacement for the used boron containing wash with the specified thickness the greater thickness of the borated layer and HAZ correspond to a greater thickness of wash.

Fig. 2 shows a histogram of the borated layer depth with wash thickness of 0.3 mm and the speed of sample displacement 2 mm/s for the spot diameter 2 and 4 mm, and Fig. 3 - the same histogram in case of sample displacement speed 4 mm/sec.

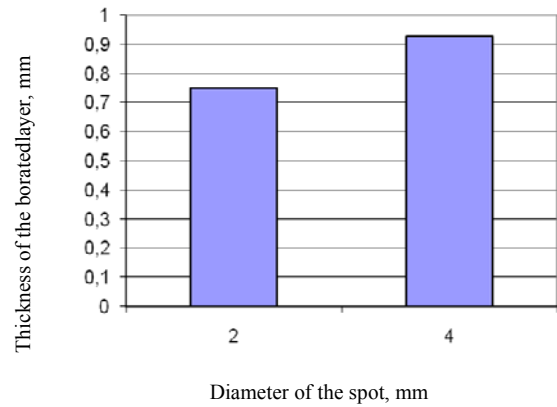


Fig. 2 Histogram of the borated layer depth with the thickness of wash 0.3 mm and the speed of sample displacement 2 mm/s for a different spot diameter size

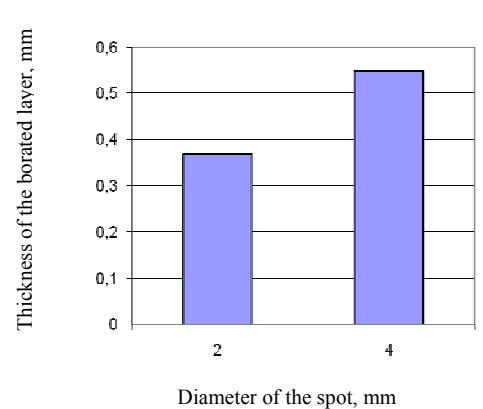


Fig. 3 Histogram of the borated layer depth with the thickness of wash 0.3 mm and the speed of sample displacement 4 mm/s for different spot diameter.

Fig. 3 Histogram of the borated layer depth with the thickness of wash 0.3 mm and the speed of sample displacement 4 mm/s for different spot diameter.

From these histograms it follows that varying of conventional defocusing, resulting in the change of irradiation spot diameter, leads to a considerable change of the laser doping layer depth. Thus, decrease of defocusing under otherwise equal conditions, which results in the reduction of the spot diameter, causes a decrease in the depth of laser irradiation.

It can be assumed that the obtained effect is due to a significant increase in surface temperature that caused intense evaporation of the wash layer and increase of energy input for evaporation.

X-ray analysis showed that the borated layer in ductile iron comprises such phases as FeB, Fe<sub>2</sub>B, α-phase, boric carbide of iron Fe<sub>3</sub> (B, C).

A comparison of the microscopic and X-ray analysis with the phase diagram of Fe-B and Fe-

Fe<sub>2</sub>B-Fe<sub>3</sub>C made it possible to reveal that these phases at solidification of the melt can form different structural components throughout the volume of the melted layer: a mixture of peritectic type (FeB + Fe<sub>2</sub>B), hypereutectic, eutectic and hypoeutectic structures.

The differentiation of phases in different structures was carried out by the method of staining etching, by analysis of the primary crystal form.

Excess  $\alpha$ -phase is formed from  $\gamma$ -phase primary crystals according to the martensitic mechanism. Boric carbide of iron Fe<sub>3</sub> (B, C) and borides FeB, Fe<sub>2</sub>B differ metallographically – by the form of excessive crystals and behavior at stain etching.

The primary crystals of boric carbide of iron present sheet-like formations – flat dendrites, which are in sections perpendicular to the surface are revealed in the form of thin strips.

In accordance with the ternary diagram, boric carbide of iron can be formed not only directly by liquid solution crystallization, but also as a result of peritectic transformation [2].

Structurally-free crystals of borides Fe<sub>2</sub>B are observed in the form of rod-postglacial crystals having a cross-sectional shape of squares, diamonds, triangles, i.e. all possible cross-sections of the tetragonal prism.

Eutectic components of the structures in the borated layer are characterized by a certain diversity of the structure and dispersion.

The eutectics in different layers and within a layer is characterized both by different dispersion, and various quantitative relations between the phases.

Comparison of the structures of layers with similar depths illustrates the effect of the wash thickness on the structure. For example, the three-zone layer with a predominance of eutectic

and hypoeutectic structures can be a dual-zone layer with hypereutectic and eutectic zones and with domination of the first one when the wash thickness ranges from 0.3 to 0.15 mm.

With increasing the speed of irradiation under otherwise equal conditions of treatment the layer depth is reduced, i. e. the volume of molten metal bath reduces and consequently there increases the amount of boron dissolved therein. The data of X-ray and microscopic analyses record the changes in the layer composition. X-ray diffraction is shown in the increasing intensity of lines of boric carbide of iron with an increasing rate of irradiation, and microstructurally it is shown in the increase of the share of high-boron structures.

### Conclusions

1. It has been established that during laser boriding with increase of the speed of sample displacement the depth of the borated layer decreases.

2. The constructed histograms of the borated layer depth indicate an increase in the latter with enlargement of the irradiation spot diameter from 2 to 4 mm.

3. X-ray and metallographic methods made it possible to reveal the phases as well as the structural components of the borated layer.

4. The effect of the wash thickness on the structure is established.

5. X-ray diffraction and micro-structural analysis allowed revealing an association between the rate of irradiation and the proportion of high boron structures in the layer.

6. The results of research can be recommended for implementation in manufacture of not only piston rings, but other machine parts made of ductile iron that are subject to wear while in operation.

### REFERENCES

1. Gladkyj I.P., Moschenok V.I., Tarabanova V.P., Lalazarova N.A. and Glushkova D.B. *Tehnologija konstrukcionnyh materialov i materialovedenie* [Technology of construction materials and materials science]. Har'k. nac. avtomob.-dorozh. un-t. Charkov: HNADU, 2011, 459 p.
2. Grygoryants A.G. *Osnovy lazernoj obrabotki materialov* [Fundamentals of laser materials processing]. Moskva: Mashinostroenie, 1989, 304 p.
3. Matveev Y.I. *Povyshenie dolgovechnosti detalej sudovyh dizelej s ispol'zovaniem plazmennogo napylenija i lazernoj obrabotki: dis. d-ra tehn. nauk: 05.08.04* [Rise of longevity of marine diesel parts using plasma spaying and laser treatment. Dissertation of Dr. Sc. (Tech.)]. Nizhniy Novgorod, 2003, 329 p.
4. Dzyuba Y.N., Lyubtchenko A.P., Glushkova D.B., Moschenok V.I. and Tarabanova V.P. *Uprochnenie izdelij iz vysokoprochnogo chuguna*. [Hardening of high-test cast iron products]. *Remont, vosstanovlenie, modernizacija* [Repair, restoration, modernization]. 2009, no. 5, pp. 11-14.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Технология конструкционных материалов и материаловедение : учеб. пособие для студ. ВУЗов, обучающихся по направлению "Инженерная механика" / И. П. Гладкий, В. И. Мошенок, В. П. Тарабанова, Н. А. Лалазарова, Д. Б. Глушкова ; Харьк. нац. автомоб.-дорож. ун-т. – Харьков : ХНАДУ, 2011. – 459 с.
2. Григорьянц А. Г. Основы лазерной обработки материалов / А. Г. Григорьянц. – Москва : Машиностроение, 1989. – 304 с.
3. Матвеев Ю. И. Повышение долговечности деталей судовых дизелей с использованием плазменного напыления и лазерной обработки : дис. ... д-ра техн. наук : 05.08.04 / Матвеев Ю. И. – Нижний Новгород, 2003. – 329 с.
4. Упрочнение изделий из высокопрочного чугуна / Ю. Н. Дзюба, А. П. Любченко, Д. Б. Глушкова, В. И. Мошенок, В. П. Тарабанова // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2009. – № 5. – С. 11-14.

*Рецензент: д-р т. н., проф. В. С. Вахрушева*

Надійшла до редколегії: 07.10.2015 р. Прийнята до друку: 09.10.2015 р.



УДК 711.582

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВАРТОСТІ БУДІВНИЦТВА ЖИТЛА З УРАХУВАННЯМ ЧИННИКА ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ТЕРИТОРІЙ

ЗАЯЦЬ Є. І.<sup>1\*</sup>, к. т. н., доц.,  
ТРИФОНОВ І. В.<sup>2</sup>, д. т. н., доц.,  
БРОНЕВИЦЬКИЙ С. П.<sup>3</sup>, к. т. н.,  
ЄПІФАНЦЕВА С. В.<sup>4</sup>, здоб.

<sup>1\*</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: zei83dici@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7382-919X

<sup>2</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (096) 810-78-28, e-mail: vo\_gon@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-3278-6197

<sup>3</sup> Комунальна організація «Інститут Генерального плану м. Києва», вул. Хрещатик, 32, 01001, Київ, Україна, тел. +38 (044) 234-85-89, e-mail: bsp@grad.gov.ua, ORCID ID: 0000-0002-7585-0638

<sup>4</sup> Кафедра планування і організації виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-66, e-mail: svuyp@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-9296-8745

**Анотація.** *Постановка проблеми.* Для планування і організації міського будівництва необхідно аналізувати використання територій. Територіальні ресурси міста, які можуть бути використані для будівництва та інших містобудівних цілей, складаються із земельних ділянок: вільних, відведених і не освоєних у попередні роки, незавершеного будівництва; мікрорайонів і кварталів застарілого житлового фонду; промислових і комунально-складських підприємств, які використовуються нерационально або припинили виробничу діяльність; оборонного відомства, де розміщуються амортизовані склади та інші основні фонди, вже не використовувані за призначенням; сільськогосподарських підприємств, де розміщені застарілі виробничі фонди, сінокоси, розсадники, теплиці. Кількість вільних територій, придатних для подальшого розвитку міст, вкрай обмежена. Разом із тим значна частина територій майже всіх функціональних зон використовується неефективно. **Мета дослідження** - формалізація фактора інвестиційної привабливості територій для подальшого виявлення і дослідження зв'язку між ним та вартістю будівництва житла. **Висновок.** Виявлені закономірності впливу фактора інвестиційної привабливості територій на вартість зведення висотних будівель дозволяють кількісно оцінити цей вплив і можуть бути використані для розроблення методики обґрунтування доцільності та ефективності реалізації проектів висотного будівництва, заснованої на врахуванні організаційно-технологічних аспектів.

**Ключові слова:** житлове будівництво, вартість, інвестиційна привабливість територій, організаційно-технологічні фактори, моделювання

## ОБОСНОВАНИЕ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЬЯ С УЧЕТОМ ФАКТОРА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ

ЗАЯЦЬ Е. І.<sup>1\*</sup>, к. т. н., доц.,  
ТРИФОНОВ І. В.<sup>2</sup>, д. т. н., доц.,  
БРОНЕВИЦЬКИЙ С. П.<sup>3</sup>, к. т. н.,  
ЕПІФАНЦЕВА С. В.<sup>4</sup>, соиск.

<sup>1\*</sup> Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: zei83dici@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7382-919X

<sup>2</sup> Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (096) 810-78-28, e-mail: vo\_gon@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-3278-6197

<sup>3</sup> Коммунальная организация «Институт Генерального плана г. Киева», ул. Крещатик, 32, 01001, Киев, Украина, тел. +38 (044) 234-85-89, e-mail: bsp@grad.gov.ua, ORCID ID: 0000-0002-7585-0638

<sup>4</sup> Кафедра планирования и организации производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-66, e-mail: svuyp@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-9296-8745

**Аннотация.** *Постановка проблемы.* Для планирования и организации городского строительства необходимо анализировать использование территорий. Территориальные ресурсы города, которые могут быть

использованы для строительства и иных градостроительных целей, состоят из земельных участков: свободных, отведенных и не освоенных в предыдущие годы, незавершенного строительства; микрорайонов и кварталов устаревшего жилищного фонда; промышленных и коммунально-складских предприятий, которые используются нерационально или прекратили производственную деятельность; оборонного ведомства, где размещаются амортизированные склады и другие основные фонды, не используемые по назначению; сельскохозяйственных предприятий, где размещены устаревшие производственные фонды, сенокосы, питомники, теплицы. Количество свободных территорий, пригодных для дальнейшего развития городов, крайне ограничено. Вместе с тем значительная часть территорий почти всех функциональных зон используется неэффективно. **Цель исследования** - формализация фактора инвестиционной привлекательности территорий для дальнейшего выявления и исследования связи между ним и стоимостью строительства жилья. **Вывод.** Выявленные закономерности влияния фактора инвестиционной привлекательности территорий на стоимость возведения высотных зданий позволяют количественно оценить это влияние и могут быть использованы при разработке методики обоснования целесообразности и эффективности реализации проектов высотного строительства, основанной на учете организационно-технологических аспектов.

**Ключевые слова:** жилищное строительство, стоимость, инвестиционная привлекательность территорий; организационно-технологические факторы, моделирование

## SUBSTANTIATION OF THE COST OF HOUSING CONSTRUCTION INCLUDING THE FACTOR OF INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF TERRITORIES

ZAIATS Yi. I.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass.-prof.*,  
TRIFONOV I. V.<sup>2</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Ass.-prof.*,  
BRONEVYTSKYI S. P.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*,  
YEPIFANTSEVA S. V.<sup>4</sup>, *post. grad. stud.*

<sup>1\*</sup> Department of materials science, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: zei83dici@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7382-919X

<sup>2</sup> Department of constructional production technology, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, phone +38 (096) 810-78-28, e-mail: vo\_ron@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-3278-6197

<sup>3</sup> Municipal organization «Institute of General plan of Kyiv», 32, Chreshchatyk str., Kyiv 01001, Ukraine, phone +38 (044) 234-85-89, e-mail: bsp@grad.gov.ua, ORCID ID: 0000-0002-7585-0638

<sup>4</sup> Department of planning and organization of production, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, phone +38 (0562) 46-93-66, e-mail: svyep@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-9296-8745

**Summary. Problem statement.** For planning and organization of urban construction is necessary to analyze the use of areas. Territorial resources of the city, being used for construction and other urban purposes, consists of plots of land: disposable, reserved and undeveloped in previous years of construction in progress; residential districts and blocks of obsolete housing fund; industrial and municipal and warehouse enterprises being used irrationally or stopped to work; the defence department, where the amortized warehouses and other main funds are that are not used by purpose; agricultural enterprises where the obsolete industrial funds, haying, nurseries, greenhouses. The number of free areas suitable for future urban development is extremely limited. However a considerable part of the territories of almost all functional zones is used inefficiently. **Purpose.** Formalization of a factor of investment attractiveness of territories for the further identification and research of the connection between it and the cost of housing construction is necessary. **Conclusion.** The identification of regularities of influence of the factor of investment attractiveness of territories on the cost of construction of high-rise buildings allow to obtain a quantitative estimate of this effect and can be used in the development of the methodology of substantiation of the expediency and effectiveness of the implementation of high-rise construction projects, based on organizational and technological aspects.

**Key words:** housing construction, cost, investment attractiveness of the territories, organizational, technological factors, modelling

**Постановка проблеми.** Для планування і організації міського будівництва необхідно аналізувати використання територій.

Територіальні ресурси міста, які можуть бути використані для будівництва та інших містобудівних цілей, складаються із земельних ділянок:

- вільних, відведених і не освоєних у попередні роки, незавершеного будівництва;
- микрорайонів і кварталів застарілого житлового фонду;
- промислових і комунально-складських підприємств, які використовуються нерационально;

нально або припинили виробничу діяльність;

– оборонного відомства, де розміщуються амортизовані склади та інші основні фонди, вже не використовувані за призначенням;

– сільськогосподарських підприємств, де розміщені застарілі виробничі фонди, сінокоси, розсадники, теплиці.

Кількість вільних територій, придатних для подальшого розвитку міст, вкрай обмежена. Разом із тим значна частина територій майже всіх функціональних зон використовується неефективно [2; 9].

**Аналіз публікацій.** Світовий досвід свідчить, що розвиток міських територій не може здійснюватись без залучення й ефективного використання інвестицій. В період обмеженості інвестиційних ресурсів інвестиційна привабливість як категорія виступає основним критерієм, на базі якого формуються інвестиційна стратегія з боку інвестора та інвестиційна політика держави.

Інвестиційна привабливість міських територій – це система складових економічного потенціалу, що зумовлюють потенційну зацікавленість інвесторів щодо вкладення інвестиційних ресурсів [1; 3; 5–8; 10–15].

Отже, завдання визначення стратегічних напрямів управління інвестиційною привабливістю міських територій є актуальним та своєчасним.

**Мета дослідження** – формалізація фактора інвестиційної привабливості територій для подальшого виявлення і дослідження зв'язку між ним та вартістю будівництва житла (на прикладі зведення висотних будівель).

**Виклад матеріалу.** Інвестиційна привабливість міських територій зумовлюється функціональним використанням земельної ділянки, місцем розташування у межах міста, а також благоустроєм і якістю її території, що визначається рівнем інженерного облаштування, природними, історико-культурними, екологічними та іншими показниками.

Фактор інвестиційної привабливості міських територій може бути визначений за такою формулою:

$$F_{inv} = \frac{x_i^M}{x_{max}^M},$$

де  $x_i^M$  – значення коефіцієнта, який характеризує місце розташування  $i$ -ї земельної ділянки;

$x_{max}^M$  – максимальне значення коефіцієнта, що характеризує місце розташування земельної ділянки в цьому ж населеному пункті.

Для оцінювання значень коефіцієнта, який характеризує місце розташування земельної ділянки, доцільно скористатися викладеною в [4] методикою, яка полягає в такому.

Коефіцієнт, який характеризує місце розташування земельної ділянки, зумовлюється двома групами факторів зонального та локального характеру і обчислюється за формулою:

$$x_i^M = km2_i \cdot km3_i,$$

де  $km2_i$  – зональний коефіцієнт, який характеризує містобудівну цінність території в межах населеного пункту;

$km3_i$  – локальний коефіцієнт, який враховує місце розташування земельної ділянки в межах економіко-планувальної зони.

Вихідними даними для обчислення зональних і локальних коефіцієнтів є генеральні плани та проекти планування і забудови населених пунктів, плани їх земельно-господарського устрою, матеріали економічної оцінки їх територій.

Зональний коефіцієнт, який характеризує містобудівну цінність території в межах населеного пункту, встановлюється на основі економічної оцінки території населеного пункту з урахуванням таких факторів:

– неоднорідності функціонально - планувальних якостей території;

– доступності до центру населеного пункту, місць концентрації трудової діяльності, центрів громадського обслуговування, масового відпочинку;

– рівня інженерного забезпечення та благоустрою території;

– рівня розвитку сфери обслуговування населення;

– екологічної якості території;

–соціально-містобудівної привабливості середовища: різноманітність місць додання праці, наявність історико-культурних та природних пам'яток, естетика архітектурної забудови тощо.

Для визначення значення локального коефіцієнта, який враховує місце розташування земельної ділянки в межах економіко-планувальної зони, враховуються:

–територіально-планувальні особливості (зона магістралей підвищеного містоформовного значення, зона пішохідної доступності зупинок швидкісного транспорту, зона пішохідної доступності громадських центрів (500 м), прирейкова зона (ділянка розміщена або примикає до відводу залізниці, має під'їзну залізничну колію));

–інженерно-геологічні особливості (земельні ділянки, що мають схил поверхні понад 20 %, глибина залягання ґрунтових вод менше 3 м, місцезнаходження земельної ділянки в зоні затоплення паводком понад 4 % забезпеченості (шар затоплення понад 2 м), зона значної заболоченості з ґрунтовим живленням, що важко осушується, зона небезпечних геологічних процесів (зсуви, карст, яружна ерозія – яри глибиною понад 10 м), наливні (насіпні) території);

–історико-культурні особливості (заповідна територія, зона регулювання забудови, зона історичного ландшафту, що охороняється, зона охорони поодиноких пам'яток);

–природно-ландшафтні особливості (територія природоохоронного призначення (на-

ціональні, зоологічні та дендрологічні парки, парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва, ботанічні сади, заказники, заповідні урочища, пам'ятки природи), території оздоровчого призначення (курорти та округи санітарної охорони), території рекреаційного призначення (землі туризму та відпочинку, парки));

–санітарно-гігієнічні особливості (санітарно-захисна зона, водоохоронна зона, зона обмеження забудови за ступенем забруднення атмосферного повітря, зона обмеження забудови за рівнем напруження електромагнітного поля, зона перевищення припустимого рівня шуму, ореол забруднення ґрунтів);

–забезпеченість інженерною інфраструктурою (відсутнє тверде покриття вулиці, відсутнє централізоване водопостачання, відсутня каналізація, відсутнє централізоване газопостачання).

За результатами збирання та оцінювання вихідної інформації щодо проектів зведення висотних будівель встановлено, що досліджувані показники і фактори змінювались у таких межах (табл.).

Згідно з даними, наведеними в таблиці, можна зробити висновок, що вихідна інформація достовірна та однорідна, а досліджувані показники і фактори підпорядковуються закону нормального розподілу та можуть бути використані в процесі моделювання зв'язку між факторними і результативними показниками.

Таблиця

**Статистичні характеристики досліджуваних показників та факторів проектів зведення висотних будівель**

Статистичні характеристики	Найменування досліджуваних показників і факторів					
	$C_{100}$	$h_{100}$	$F_{інв}^{100}$	$C_{200}$	$h_{200}$	$F_{інв}^{200}$
Мінімальне значення	960,0	73,5	0,5	1 100,0	101,0	0,435
Максимальне значення	1 917,0	100,0	0,85	2 700,0	184,0	0,98
Середнє значення	1 287,8	85,0	0,592	1 873,4	130,7	0,636
Середньоквадратичне відхилення	245,28	10,02	0,115	566,86	26,56	0,178
Коефіцієнт варіації, %	19,05	11,79	19,47	30,26	20,31	22,19
$A/m_a$	2,26	1,04	2,99	0,26	1,72	-2,09
$E/m_e$	1,07	1,67	0,934	1,32	0,19	0,463

Аналітичну форму рівнянь регресії визначали із застосуванням програмного паке-

та для статистичного аналізу Stat Graphics Plus 5.1 Enterprise.

Для пошуку однофакторної моделі аналізували лінійну і нелінійні види функцій.

За результатами дослідження та аналізу однофакторних моделей відібрано залежності, що забезпечують адекватність стану системи «проект-фактор» і характеризуються визначеністю, незалежністю всередині системи і достовірністю.

За результатами аналізу всіх типів залежностей вартості зведення висотних будівель умовною висотою від 73,5 м до 100 м включно ( $C_{100}$ ) відібрано модель, що посідає перше місце за якістю апроксимації експериментальних досліджень:

$$C_{100} = 2722,33 - 822,533 / F_{інв}^{100}.$$

Для підібраної залежності коефіцієнт кореляції дорівнює -0,936, коефіцієнт детермінації дорівнює 87,65 %, фактичне значення критерію Фішера дорівнює 177,47.

Графічну інтерпретацію залежності вартості зведення висотних будівель умовною висотою від 73,5 м до 100 м включно ( $C_{100}$ ) від фактора інвестиційної привабливості територій ( $F_{інв}^{100}$ ) наведено на рисунку 1.

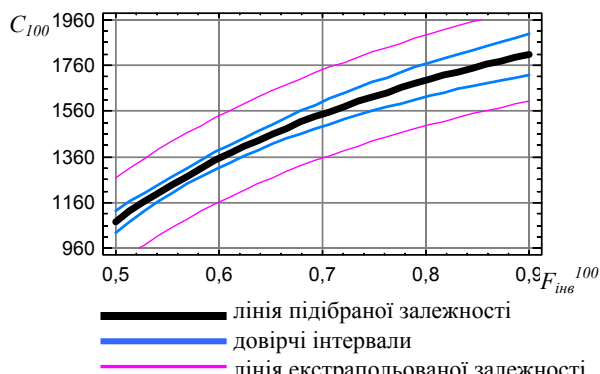


Рис. 1. Графік підібраної залежності вартості зведення висотних будівель умовною висотою від 73,5 м до 100 м включно ( $C_{100}$ ) від фактора інвестиційної привабливості територій ( $F_{інв}^{100}$ )

За результатами аналізу всіх типів залежностей вартості зведення висотних будівель умовною висотою від 100 м до 200 м включно ( $C_{200}$ ) відібрано модель, що посідає перше місце за якістю апроксимації експериментальних досліджень:

$$C_{200} = e^{6,2588+1,52963 \cdot F_{інв}^{200}}.$$

Для підібраної залежності коефіцієнт кореляції дорівнює 0,838, коефіцієнт детер-

мінації дорівнює 70,3 %, фактичне значення критерію Фішера дорівнює 26,03.

Графічну інтерпретацію залежності вартості зведення висотних будівель умовною висотою від 100 м до 200 м включно ( $C_{200}$ ) від фактора інвестиційної привабливості територій ( $F_{інв}^{200}$ ) показано на рисунку 2.

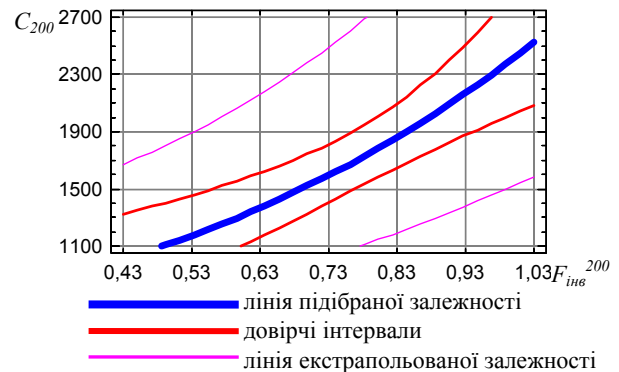


Рис. 2. Графік підібраної залежності вартості зведення висотних будівель умовною висотою від 100 м до 200 м включно ( $C_{200}$ ) від фактора інвестиційної привабливості територій ( $F_{інв}^{200}$ )

Обґрунтовуючи вартість зведення висотних будівель, виходили з передумови дотримання вимог будівельних норм і правил створення будівельної продукції та забезпечення нормативних термінів експлуатації будинків.

Із метою врахування зміни вартості в часі доцільно застосовувати:

- індекси інфляції;
- індекси зміни вартості будівельних робіт.

Оцінка виявлених закономірностей впливу фактора інвестиційної привабливості територій на вартість зведення висотних будівель за критерієм Фішера підтвердила їх адекватність реальному процесу висотного будівництва.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Виявлені закономірності впливу фактора інвестиційної привабливості територій на вартість зведення висотних будівель дозволяють кількісно оцінити цей вплив і можуть бути застосовані для розроблення методики обґрунтування доцільності та ефективності реалізації проектів висотного будівництва, заснованої на врахуванні організаційно-технологічних аспектів.

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків : ДБН В.2.2-24-2009 / Мінрегіонбуд України. – Уведено вперше ; чинні з 2009-09-01. – Київ : Мінбуд України, 2009. – 161 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Система надійності та безпеки в будівництві. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки : ДБН В.1.2-12-2008 / Мінрегіонбуд України. – Введ. вперше ; чинні з 2009-01-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. – 36 с.
3. Управління, організація і технологія. Організація будівельного виробництва : ДБН А.3.1-5-2009 / М-во регіон. розвитку та буд-ва України. – На заміну ДБН А.3.1-5-96 ; чинні з 2012-01-01. – Офіц. вид. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 61 с. – (Державні будівельні норми України).
4. Про Порядок нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення та населених пунктів : Наказ від 27 січня 2006 р. № 18/15/21/11 / Держ. комітет України по зем. ресурсах, М-во аграр. політики України, М-во буд-ва, архітектури та житл.-комун. гос-ва України, Укр. акад. аграр. наук. – Режим доступу: zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0388-06. – Назва з екрана. – Перевірено: 02.11.2015.
5. Генералов В. П. Особенности проектирования высотных зданий / В. П. Генералов ; Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара, 2009. – 296 с.
6. Гончаренко Д. Ф. Возведение многоэтажных каркасно-монолитных зданий : [монография] / Д. Ф. Гончаренко, Ю. В. Карпенко, Е. И. Меерсдорф ; под ред. Д. Ф. Гончаренко. – Киев : А+С, 2013. – 128 с.
7. Кирнос В. М. Организация строительства : учеб. пособие для студ. строит. спец. / В. М. Кирнос, В. Ф. Залуин, Л. Н. Дадиверина. – Днепропетровск : Пороги, 2005. – 309 с.
8. Кирнос О. И. Организационно-технологические аспекты обоснования цены на строительную продукцию : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08 : защищена 22.10.1993 / О. И. Кирнос ; науч. рук. Р. Б. Тян. – Защищена 22.10.1993. – Днепропетровск, 1993. – 144 с.
9. Осітнянко А. П. Планування розвитку міста : монографія / А. П. Осітнянко. – Киев : КНУБА, 2001. – 460 с.
10. Проектирование современных высотных зданий / [Сьюй Пэйфу, Фу Сюси, Ван Цуйкунь, Сяо Цунчжэнь]. – Москва : Изд-во АСВ, 2008. – 469 с.
11. Ali M. M. Evolution of concrete skyscrapers: from Ingalls to Jin mao / V. Ali Mir // Electronic journal of structural engineering. – 2001. – Vol. 1, № 1. – P. 2-14. – Available at: <http://www.ejse.org/Archives/Fulltext/200101/01/20010101.htm>.
12. Beedle L. S. The skyscraper and the city: design, technology, and innovation / Lynn S. Beedle, Mir M. Ali, Paul J. Armstrong. – New York : Edwin Mellen Press, 2007. – 912 p.
13. Richard L. Urban construction project management / L. Richard, J. Eschemuller. – 1st edition. – New York : McGraw-Hill, 2008. – 480 p. – (McGraw-Hill Construction Series).
14. Shevchenko G. Multi-attribute analysis of investments risk alternatives in construction / G. Shevchenko, L. Ustinovichius, A. Andruskevicius // Technological and Economic Development of Economy : Baltic Journal on Sustainability. – 2008. – Vol. 14, № 3. – P. 428-443. – Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3846/1392-8619.2008.14.428-443>.
15. Sidney V. L. Project management in construction / V. L. Sidney. – New York : McGraw-Hill, 2006. – 402 p. – (McGraw-Hill Construction Series).

## REFERENCES

1. *Budynky i sporudy. Proektuvannia vysotnykh zhytlovykh i hromadskykh budynkiv: DBN B.2.2-24:2009* [Houses and buildings. Designing of high-rise residential and public buildings: SBC B.2.2-24:2009]. Kyiv, Minregionbud Ukrainy Publ., 2009, 103 p.
2. *Budivnytstvo v umovakh ushchilnenoї zabudovy. Vymogy bezpeky: DBN B.1.2-12-2008* [Building in the compacted area. Safety requirements: SBC B.1.2-12-2008]. Kyiv, Minregionbud Ukrainy Publ., 2008, 34 p.
3. *Organizatsiia budivelnogo vyrobnytstva: DBN A.3.1-5-2009* [Organization of building production: SBC A.3.1-5-2009]. Kyiv, Minregionbud Ukrainy Publ., 2011, 61 p.
4. *Pro Poriadok normatyvnoi otsinky zemel silskogospodarskogo pryznachennia ta naselenykh punktiv: Nakaz Derzhavnogo komitetu po zemelnykh resursakh* [On the order of the normative monetary evaluation of lands of agricultural purpose and settlements: The order of the State Committee of Ukraine on land resources]. Available at: zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0388-06. (Accessed 6 November 2015).
5. Generalov V.P. *Osobennosti proektirovaniya vysotnykh zdaniy* [Features of design of tall buildings]. Samara, Samarsk. state architect.-builds. university Publ., 2009, 296 p.
6. Goncharenko D.F., Karpenko Yu.V. and Meersdorf E.I. *Vozvedenie mnogoetazhnykh karkasno-monolitnykh zdaniy* [The construction of multi-storey frame-monolithic buildings]. Kyiv, A+S Publ., 2013, 128 p.

7. Kirnos V.M., Zalunin V.F. and Dadiverina L.N. *Organizatsiya stroitelstva* [Organization of construction]. Dnepropetrovsk, Porogi Publ., 2005, 309 p.
8. Kirnos O.I. *Organizatsionno-tekhnologicheskie aspekty obosnovaniya tseny na stroitelnyuyu produktsiyu: Avtoreferat Diss.* [Organizational and technological aspects of the justification of prices for construction products. Author's abstract.]. Dnepropetrovsk, 1993, 145 p.
9. Ositnianko A.P. *Planuvannia rozvytku mista* [City development planning]. Kyiv, KNUCEA Publ., 2001, 460 p.
10. Syuy P., Fu S., Van T. and Syao T. *Proektirovanie sovremennykh vysotnykh zdaniy* [The design of modern high-rise buildings]. Moscow, ASV Publ., 2008, 469 p.
11. Ali M. M. Evolution of concrete skyscrapers: from Ingalls to Jin mao [Electronic Journal of Structural Engineering], 2001, vol. 1, no. 1, pp. 2-14.
12. Beedle L.S., Ali M.M. and Armstrong P. J. *The skyscraper and the city: design, technology, and innovation*. Lewiston, Edwin Mellen Press Publ., 2007, 912 p.
13. Richard L. and Eschemuller J. *Urban construction project management*. New York, McGraw-Hill Publ., 2008, 480 p.
14. Shevchenko G., Ustinovichius L. and Andruskevicius A. Multi-attribute analysis of investments risk alternatives in construction [Technological and Economic Development of Economy: Baltic Journal on Sustainability], 2008, vol. 14, № 3, pp. 428-443.
15. Sidney V.L. *Project management in construction*. New York, McGraw-Hill Publ., 2006, 402 p.

*Рецензент: д-р т.н., проф. А. І. Білоконь*

Надійшла до редколегії: 04.11.2015 р. Прийнята до друку: 06.10.2015 р.

УДК 519.21

## О ВЫБОРЕ МАСШТАБА ИЗОБРАЖЕНИЯ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ЕЕ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

ВОЛЧУК В. Н.,<sup>1</sup> д. т. н., доц.

<sup>1</sup> Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuku@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

**Аннотация. Постановка проблемы.** На каждом масштабном уровне выявляются новые особенности структуры материала, характеризующие то или иное его качество. Так, например, в сталях на микроструктурном уровне выявляются особенности зеренной структуры, параметры которой в значительной степени влияют на прочностные свойства металла. Таким образом, для выбора масштаба представления фрактального объекта, например, элементов структуры валкового чугуна или стали, необходимо определить интервал (1), в котором соблюдается его самоподобие, и на этом интервале должен быть выбран тот масштаб, применение которого позволит выбрать адекватную ему фрактальную размерность. За оптимальный масштаб представления структуры принимается тот, при котором как минимум в двух рядом стоящих точках из ряда (2) фрактальные размерности минимально различаются между собой. Последнее объясняется тем, что при этом наилучшим образом соблюдается свойство самоподобия структуры. Приведен пример выбора масштаба представления структуры чугунных валков исполнения СПХН (а) и исполнения СШХН (б) на интервале увеличений от  $\times 100$  до  $\times 1\ 000$  с заданным шагом  $\Delta l = 100$ . Реализация данного этапа исследований позволила определить экспериментальным путем оптимальный масштаб представления структуры валкового чугуна при увеличении  $\times 200$  – для мультифрактального анализа ее элементов: включений пластинчатого и шаровидного графита, карбидов. **Цель.** Определить оптимальный масштаб представления структуры валкового чугуна для мультифрактального анализа ее элементов: включений пластинчатого и шаровидного графита, карбидов. **Вывод.** Установлено, что фрактальная размерность исследуемых элементов структуры изменялась в пределах погрешности опыта  $5 \div 7\%$ , что свидетельствует об универсальности этой оценки, и, соответственно, надежности и экономическом выигрыше, с точки зрения оснащенности заводских лабораторий дорогостоящими металлографическими микроскопами с более высоким разрешением.

**Ключевые слова:** оптимальный масштаб, фрактальная размерность, мультифрактальный анализ, графит, карбиды

## ПРО ВИБІР МАСШТАБУ ЗОБРАЖЕННЯ СТРУКТУРИ ДЛЯ ЇЇ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

ВОЛЧУК В. М.,<sup>1</sup> д. т. н., доц.

<sup>1</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuku@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

**Анотація. Постановка проблеми.** На кожному масштабному рівні виявляються нові особливості структури матеріалу, що характеризують ту або іншу його властивість. Так, наприклад, у сталях на мікроструктурному рівні виявляються особливості зеренної структури, параметри якої значною мірою впливають на властивості міцності металу. Таким чином, для вибору масштабу подання фрактального об'єкта, наприклад, елементів структури валкового чавуну або сталі, необхідно визначити інтервал (1), в якому дотримується його самоподібність, і на цьому інтервалі повинен бути обраний той масштаб, використання якого дозволить вибрати адекватну йому фрактальну розмірність. За оптимальний масштаб подання структури приймається той, при якому, як мінімум у двох точках, що знаходяться поруч, з ряду (2), фрактальні розмірності мінімально відрізняються між собою. Останнє пояснюється тим, що при цьому щонайкраще дотримується властивість самоподібності структури. Наведено приклад вибору масштабу подання структури чавунних валків виконання СПХН (а) і виконання СШХН (б) на інтервалі збільшень від  $\times 100$  до  $\times 1\ 000$  із заданим кроком  $\Delta l = 100$ . Реалізація даного етапу досліджень дозволила визначити експериментальним шляхом оптимальний масштаб подання структури валкового чавуну при збільшенні  $\times 200$  – для мультифрактального аналізу її елементів: включень пластинчастого й кулястого графіту, карбідів. **Мета.** Визначити оптимальний масштаб подання структури валкового чавуну для мультифрактального аналізу її елементів: включень пластинчастого й кулястого графіту, карбідів. **Висновок.** Установлено, що фрактальна розмірність досліджуваних елементів структури змінювалася в межах похибки досліду  $5 \div 7\%$ , що свідчить про універсальність цієї оцінки, і, відповідно, надійність та економічний вигравш, з погляду оснащення заводських лабораторій дорогими металографічними микроскопами з більш високою роздільною здатністю.

**Ключові слова:** оптимальний масштаб, фрактальна розмірність, мультифрактальний аналіз, графіт, карбід



## SELECTION OF SCALE OF PICTURE OF STRUCTURE FOR ITS MULTIFRACTAL ANALYSIS

VOLCHUK V. N.,<sup>1</sup> *Dr. Sc. (Tech.), Ass.-prof.*

<sup>1</sup> Department of Materials Science, State Higher Education Establishment «Pridneprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo str., Dnepropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

**Summary. Problem statement.** Each scale level detectesthe new features of the structure of the material describing of it quality. For example, features of the grain structure are revealed in different kind of steel on microstruc ture level, and its parameters greatly influences on the strength properties of the metal. Thus, to select the scale of representation of a fractal object, for instance the elements of structure of roll iron or steel is necessary to determine the interval (1), where observed its self-similarity, and on this interval should be selected the scale, the use of which will allow him to choose adequate fractal dimension. For optimal scale structure of repose is taken one in which at least two adjacent points of the series (2), the fractal dimension is minimal differences between them. This is explained by the fact that this is best observed property of self-similarity structure. An example of the selection of the scale representation of the structure of cast iron rolls execution of SPHN (a) and execution SSHN (b) is shown on interval of increases in the range of  $\times 100$  to  $\times 1000$  with a predetermined pitch  $\Delta l = 100$ . The implementation of this phase of research allowed to determine experimentally the optimal scale of representation of structure of iron roll with increasing  $\times 200$  for multifractal analysis of its elements: inclusion of the plate and nodular graphit, carbides. **Purpose** To determine the optimal scale structure representation for iron roll multifractal analysis of its elements: inclusion of the plate and nodular carbides. **Conclusion.** It was found that the fractal dimension of the structural elements of the test ranged from experimental error  $5\div 7\%$ , which testifies to the universality of this assessment, and therefore reliability and economic benefits, in terms of the equipping of laboratories expensive metallurgical microscopes with higher resolution.

**Keywords:** optimal scale, fractal dimension, multifractal analysis, graphite, carbide.

**Введение.** При фрактальном анализе всегда предполагается, что изучаемому объекту, независимо от масштаба его изображения, присуще свойство самоподобия, которое заключается в том, что в любом масштабе его структуре присущи одни и те же сингулярности [1; 2]. Для реального фрактала, которым является структура многих металлов, существует некоторый масштаб длины  $l$ , такой, что при увеличениях меньших или больших от этого масштаба свойство самоподобия визуально не фиксируется. Исходя из этого, свойство самоподобия фракталов изучается в определенных масштабах:

$$l_{\min} \leq l \leq l_{\max} . \quad (1)$$

На каждом масштабном уровне выявляются новые особенности структуры материала, характеризующие то или иное его качество. Так, например, в сталях на микроструктурном уровне выявляются особенности зеренной структуры, параметры которой в значительной степени влияют на прочностные свойства металла [3].

Таким образом, для выбора масштаба представления фрактального объекта, например, элементов структуры валкового чугуна или стали, необходимо определить

интервал (1), в котором соблюдается его самоподобие, и на этом интервале должен быть выбран тот масштаб, применение которого позволит выбрать адекватную ему фрактальную размерность.

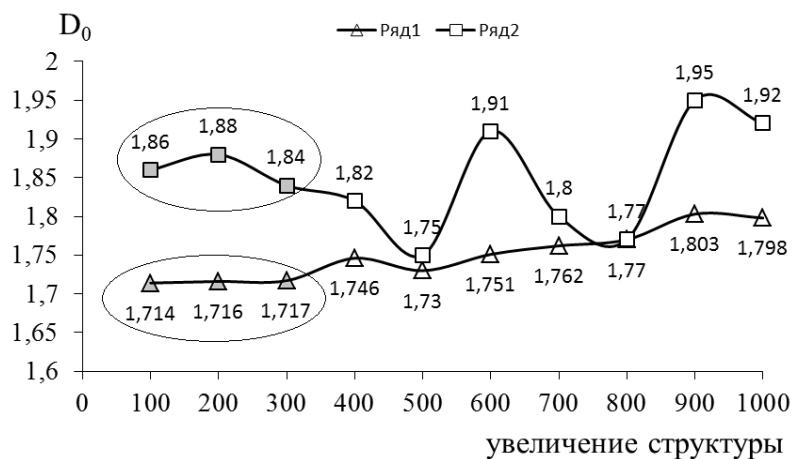
Для этого эмпирически задаем некоторый шаг  $\Delta l$  изменения масштаба от  $l_{\min}$  до  $l_{\max}$ . Затем в интервале (2) вычисляются оценки фрактальных размерностей в точках масштабов

$$l_{\min} + (l_{\min} + \Delta l) + \dots + (l_{\min} + n \Delta l) , \quad (2)$$

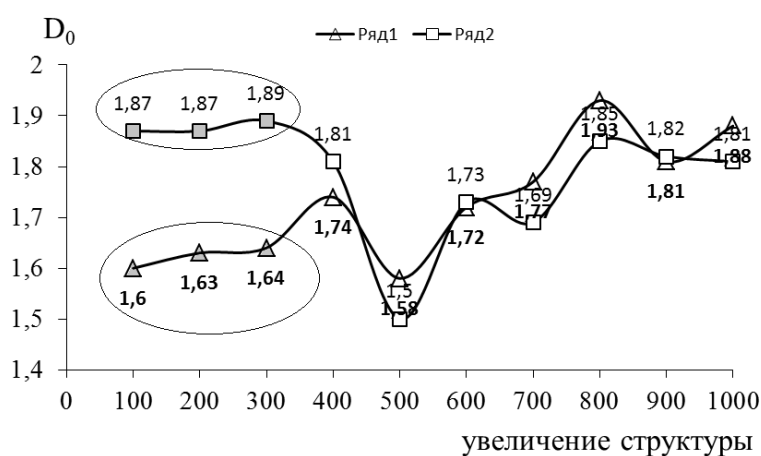
$$\text{где } n = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{\Delta l} .$$

За оптимальный масштаб представления структуры принимается тот, при котором как минимум в двух рядом стоящих точках из ряда (2) фрактальные размерности минимально различаются между собой. Последнее объясняется тем, что при этом наилучшим образом соблюдается свойство самоподобия структуры.

**Экспериментальные результаты и их обсуждение.** Ниже на рисунке приведен пример выбора масштаба представления структуры чугуновых валков исполнения СПХН (а) и исполнения СШХН (б) на интервале увеличений от  $\times 100$  до  $\times 1\,000$  с заданным шагом  $\Delta l = 100$ .



а



б

Рис. Выбор оптимального масштаба представления структуры валкового чугуна (а – СПХН, б - СШХН) в зависимости от фрактальной размерности ее элементов (размерность графита – ряд 1; размерность карбидов – ряд 2)

Из рисунка следует, что самоподобие, как основная качественная характеристика, подтверждающая фрактальную природу исследуемого объекта, в указанном интервале масштабов сохраняется в выделенных областях. На основании результатов расчета фрактальной размерности элементов структуры чугуновых валков исполнения СПХН по 235 фотоснимкам за оптимальный масштаб представления структуры чугуна выбран масштаб  $\times 200$ , поскольку в двух рядом стоящих масштабах ( $\times 100$ ,  $\times 300$ ) фрактальные размерности минимально различались между собой: 1,714, ... 1,717 – для пластинчатого графита (ряд 1); 1,860, ... 1,840 – для карбидов (ряд 2).

На рисунке б приведены результаты выбора оптимального масштаба для

представления структуры шаровидного графита валков исполнения СШХН. В качестве оптимального масштаба для представления структуры чугуна выбран также масштаб  $\times 200$ . В диапазоне увеличений от  $\times 100$  до  $\times 300$  фрактальная размерность графита изменялась от 1,600 до 1,640, а карбидов – от 1,870 до 1,890, что свидетельствует о сохранении самоподобия элементов структуры на данном масштабном диапазоне и подтверждает их фрактальную природу.

Реализация данного этапа исследований позволила определить экспериментальным путем оптимальный масштаб представления структуры валкового чугуна при увеличении  $\times 200$  – для мультифрактального анализа ее элементов: включений пластинчатого и шаровидного графита, карбидов.

**Выводы.** Установлено, что фрактальная размерность исследуемых элементов структуры изменялась в пределах погрешности опыта  $5 \div 7$  %, что свидетельствует об универсальности этой оценки, и, соответственно, надежности и экономическом выигрыше, с точки зрения оснащённости заводских лабораторий дорогостоящими металлографическими микроскопами с более высоким разрешением.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В. И. Фракталы в материаловедении / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров. – Днепропетровск : ПГАСА, 2005. – 253 с. : ил.
2. Большаков В. И. Особенности применения мультифрактального формализма в материаловедении / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Доповіді Національної академії наук України. – 2008. – № 11. – С. 99-107.
3. Большаков В. И. Материаловедческие аспекты применения вейвлетно-мультифрактального подхода для оценки структуры и свойств малоуглеродистой стали / В. И. Большаков, В. Н. Волчук // Металлофизика и новейшие технологии. – 2011. – Т. 33, вып. 3. – С. 347-360.

### REFERENCES

1. Bol'shakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Fraktaly v materialovedenii* [Fractals in materials science]. Dnepropetrovsk: PGASA, 2006, 253 p. (in Russian).
2. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Osobennosti primeneniya mul'tifraktal'nogo formalizma v materialovedenii* [Features of the use of the multifractal formalism in materials science ]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk ukrainy* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2008, no. 11, pp 99-107. (in Russian).
3. Bolshakov V.I. and Volchuk V.N. *Materialovedcheskiye aspekty primeneniya veyvletno-mul'tifraktal'nogo podkhoda dlya otsenki struktury i svoystv malouglerodistoy stali* [Material science aspects of the use of wavelet and multifractal approach for assessing of the structure and properties of low-carbon steel]. *Metallofizika i noveyshie tekhnologii* [Metal physics and advanced technologies]. 2011, vol. 33, iss. 3, pp 347-360. (in Russian).

Рецензент: д-р т. н., проф. Ю. І. Дубров

Надійшла до редколегії: 04.10.2015 р. Прийнята до друку: 06.10.2015 р.

УДК 624.15, 624.042.7

## УЧЕТ ОСНОВАНИЯ И СЕЙСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЛОЩАДКИ ПРИ АНАЛИЗЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ РЕАКТОРНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

СЕДИН В. Л.<sup>1\*</sup>, *д. т. н, проф.*,  
БАУСК Е. А.<sup>2\*</sup>, *с. н. с, зав. лаб. ЛИАТЕ*,  
ДОВБНИЧ М. М.<sup>3\*</sup>, *д. геол. н, проф.*,  
ЗАГИЛЬСКИЙ В. А.<sup>4\*</sup>, *м. н. с., асп.*

<sup>1\*</sup> Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

<sup>2\*</sup> Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: yabausk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0504-1891

<sup>3\*</sup> Кафедра геофизических методов разведки, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», пр. Карла Маркса, 19, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-90-11, e-mail: dovbnichm@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9634-7444

<sup>4\*</sup> Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: zagilsky@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7853-565X

**Аннотация.** *Постановка проблемы.* Обеспечение безопасной эксплуатации атомных электростанций, а также безопасности персонала и окружающей среды - чрезвычайно важная задача. Отличительной особенностью этой проблемы является необходимость обеспечения не только прочности конструкций, но и надежного функционирования всех систем, которые осуществляют контроль ядерного процесса. В частности, необходимо учитывать влияние землетрясения на конструкции зданий и сооружений АЭС с учетом их взаимодействия с грунтовым основанием. Согласно рекомендациям МАГАТЭ SSG-9, для каждой АЭС должен быть проанализирован риск колебаний грунта, связанный с землетрясениями, что означает исследования, включающие в себя работы по общему, детальному и микросейсмическому районированию площадки. Одной из отличительных особенностей рассматриваемой проблемы является оценка сейсмичности площадки и получение спектров ответа на свободной поверхности. **Цель работы.** Определение сейсмостойкости зданий повышенной категории ответственности на примере реакторного отделения Запорожской АЭС с учетом взаимодействия с грунтовым основанием. **Вывод.** В ходе исследования произведена оценка сейсмичности площадки и получены спектры ответа на свободной поверхности, выполнен анализ сейсмостойкости здания повышенной категории ответственности с учетом эффектов взаимодействия основания и сооружения. В процессе исследования рассмотрена и реализована методика моделирования эквивалентных динамических характеристик основания при сейсмических воздействиях.

**Ключевые слова:** *оценка сейсмичности площадки, спектры ответа, взаимодействие основания и сооружения, сейсмостойкость, сейсмическое воздействие, динамическая модель, RSA Pro 2013*

## УРАХУВАННЯ ОСНОВИ І СЕЙСМІЧНИХ УМОВ МАЙДАНЧИКА ДЛЯ АНАЛІЗУ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ РЕАКТОРНОГО ВІДДІЛЕННЯ

СЕДИН В. Л.<sup>1\*</sup>, *д. т. н, проф.*,  
БАУСК Є. А.<sup>2\*</sup>, *с. н. с, зав. лаб. ЛДАТЕ*,  
ДОВБНИЧ М. М.<sup>3\*</sup>, *д. геол. н, проф.*,  
ЗАГІЛЬСЬКИЙ В. А.<sup>4\*</sup>, *м. н. с., асп.*

<sup>1\*</sup> Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

<sup>2\*</sup> Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: yabausk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0504-1891

<sup>3\*</sup> Кафедра геофізичних методів розвідки, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», пр. Карла Маркса, 19, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-90-11, e-mail: dovbnichm@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9634-7444

<sup>4\*</sup> Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: zagilsky@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7853-565X

**Анотація. Постановка проблеми.** Гарантування безпечної експлуатації атомних електростанцій, а також безпеки персоналу і навколишнього середовища - надзвичайно важливе завдання. Відмінною особливістю цієї проблеми є необхідність забезпечення не тільки міцності конструкцій, а й надійного функціонування всіх систем, які здійснюють контроль ядерного процесу. Зокрема, необхідно брати до уваги вплив землетрусу на конструкції будівель і споруд АЕС з урахуванням їх взаємодії з ґрунтовою основою. Згідно з рекомендаціями МАГАТЕ SSG-9, для кожної АЕС має бути проаналізований ризик коливань ґрунту, пов'язаний із землетрусами, що означає дослідження, які включають у себе роботи із загального, детального і мікросейсмічного районування майданчика. Одна з відмінних особливостей розглянутої проблеми - оцінювання сейсмічності майданчика і отримання спектрів відгуку на вільній поверхні. **Мета роботи.** Визначення сейсмостійкості будівель підвищеної категорії відповідальності на прикладі реакторного відділення Запорізької АЕС з урахуванням взаємодії з ґрунтовою основою. **Висновок.** У ході дослідження проведено оцінювання сейсмічності майданчика та отримано спектри відгуку на вільній поверхні, виконано аналіз сейсмостійкості будівлі підвищеної категорії відповідальності з урахуванням ефектів взаємодії основи і споруди. У процесі дослідження розглянуто і реалізовано методику моделювання еквівалентних динамічних характеристик основи за сейсмічних впливів.

**Ключові слова:** оцінювання сейсмічності майданчика, спектр відповіді, взаємодія основи і споруди, сейсмостійкість, сейсмічний вплив, динамічна модель, RSA Pro 2013

## CONSIDERATION OF FOUNDATION AND SEISMIC CONDITIONS OF AREA IN ANALYSIS OF SEISMIC RESISTANCE OF REACTOR COMPARTMENT

SEDIN V. L.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech), Prof.*,  
 BAUSK E. A.<sup>2\*</sup>, *senior reseach., head of lab. Laboratory of research of nuclear and thermal power plant*,  
 DOVBNICH M. M.<sup>3\*</sup>, *Dr. Sc. (Geol), Prof.*,  
 ZAGIL'SKIY V. A.<sup>4\*</sup>, *junior reseach., postgraduate.*

<sup>1</sup> Department of Basements and Foundations, State Higher Education Establishment «Pridneprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

<sup>2\*</sup> Department of Basements and Foundations, State Higher Education Establishment «Pridneprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, e-mail: yabausk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0504-1891

<sup>3\*</sup> Department of Geophysics, State Higher Education Establishment «National Mining University», 19, Karl Marks av., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine tel. +38 (0562) 46-90-11, e-mail: dovbnichm@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9634-7444

<sup>4\*</sup> Department of Basements and Foundations, State Higher Education Establishment «Pridneprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, e-mail: zagilsky@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7853-565X

**Summary. Problem statement.** Providing of safe exploitation of nuclear power plants, as well as a safety of staff and environment is a very important problem. A distinct feature of this problem is a necessity to provide not only a strength of structures, but also a safe functioning of all systems that control nuclear process. In particular, the influence of earthquake should be considered on constructions of buildings and structures of nuclear and thermal power plant, taking into account soil-structure interaction. According to IAEA's SSD-9 recommendations, a risk of vibration of soil should be analyzed for each NPP connected with earthquakes soil that means researches, including general, detailed and microseismic zoning of the area works. One of the distinctive features of the considered problem is an evaluation of the seismicity of area and getting the response spectrum on the free surface. **Purpose.** Determination of seismic resistance of buildings of high category of safety with the example of the reactor compartment of Zaporoghskaya NPP including the soil structure interaction. **Conclusion** The seismicity assessment of the area and obtaining of response specters on free surface was made during research and analysis of seismic resistance of buildings of high category of safety including the effects of foundation and structures. The method of modeling of the equivalent dynamic characteristics of the base was considered during the research in seismic impacts.

**Key words:** Evaluation of seismicity areas, response spectrum, interaction of foundation and structures, seismicity, seismic impact, dynamic model, RSA Pro 2013

**Постановка проблеми.** Обеспечение безопасной эксплуатации атомных электростанций, а также безопасности персонала и окружающей среды – чрезвычайно важная

задача. Отличительной особенностью этой проблемы является необходимость обеспечения не только прочности конструкций, но и надежного функционирования всех сис-

тем, которые осуществляют контроль ядерного процесса. В частности, необходимо учитывать влияние землетрясения на конструкции зданий и сооружений АЭС с учетом их взаимодействия с грунтовым основанием.

**Анализ публикаций.** Многие исследователи, как в нашей стране, так и за рубежом, занимаются проблемой сейсмического анализа сооружений повышенной категории ответственности. Проблеме учета грунтового основания при анализе сейсмостойкости уделяется значительное внимание, в частности, исследования влияния грунтового основания рассмотрены в работах Т. К. Датта, А. М. Уздина [7], А. Г. Тяпкина [5].

Анализ взаимодействия системы «грунтовое основание – фундамент – сооружение» при сейсмических воздействиях для зданий атомных электростанций представлен в работах Дж. Вольфа [9], А. Н. Бирбраера [1].

**Цель статьи.** Определение сейсмостойкости зданий повышенной категории ответственности на примере реакторного отделения Запорожской АЭС с учетом взаимодействия с грунтовым основанием.

**Изложение материала.** Жесткие требования по безопасности атомных электростанций должны выполняться во всех предусмотренных нормативными документами условиях, в том числе в условиях сейсмического воздействия, что определяется надежностью работы систем и элементов. При проектировании и строительстве таких объектов необходимо обеспечить сейсмостойкость не только всех сооружений, но и прилегающих к строительству коммуникаций и оборудования, что требует решения ряда специфических задач. Одной из таких задач является решение проблемы взаимодействия фундамента с грунтовым основанием, которая занимает одно из центральных мест в общей теории сейсмостойкости. При проектировании и строительстве массивных сооружений в районах с повышенной сейсмичностью, а также при анализе работоспособности элементов зданий повышенной категории ответственности, к которым относятся атомные электростанции, большое внимание уделяется сейсмостойко-

сти сооружений. Наиболее существенным фактором, влияющим на сейсмостойкость сооружения, является интенсивность сейсмических воздействий в районе строительства. Не менее важен расчет зданий в системе «основание – сооружение», поскольку учет грунтового основания способствует получению более корректных результатов, что крайне важно для зданий и сооружений АЭС. Создание наиболее точной расчетной модели, в частности с учетом основания, является первоочередным фактором, влияющим на адекватность полученных результатов. В соответствии с [1], расчетные модели зданий и сооружений должны наиболее точно отражать характер их взаимодействия с грунтовым основанием.

В рамках данной работы производился анализ сейсмостойкости на примере реакторного отделения № 1 Запорожской атомной электростанции.

Согласно рекомендациям МАГАТЭ SSG-9 [11], для каждой АЭС должен быть проанализирован риск колебаний грунта, связанный с землетрясениями. В рамках выполнения программы продления сроков эксплуатации энергоблоков ЗАЭС в 2011-2014 гг. был выполнен комплекс мероприятий по оценке сейсмической безопасности станции. Исследования включали в себя: работы по общему, детальному и микросейсмическому районированию; получение спектра ответа и расчетных акселерограмм на поверхности промплощадки, моделирующих сейсмическое событие уровня проектного землетрясения (ПЗ) и максимального расчетного землетрясения (МПЗ); расчет сейсмостойкости и поэтажных спектров ответа с учетом эффектов взаимодействия с грунтовым основанием.

Указанные работы можно разделить на два этапа:

- 1) геолого-геофизические исследования по оценке сейсмичности площадки размещения АЭС;
- 2) инженерные расчеты на динамическое воздействие зданий, сооружений и оборудования АЭС.

**Оценка сейсмичности площадки и получение спектров ответа на свободной**

**поверхности.** В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ SSG-9 [11] геолого-геофизические исследования проводились на четырех уровнях: региональном, субрегиональном, районе ближней зоны размещения площадки и территории самой промплощадки ЗАЭС, что обеспечило постепенное, более подробное исследование объекта.

Геолого-геофизические работы по оценке сейсмичности площадки размещения ЗАЭС включали: сейсмологические, геофизические, инженерно-геологические, тектонические, неотектонические и геоморфологические исследования различных масштабов с целью оценки сейсмичности района размещения ЗАЭС уровня ПЗ (период повторяемости один раз в 1000 лет) и МРЗ (период повторяемости один раз в 10 000 лет) с учетом локальных условий.

В ходе проведенных мероприятий была выполнена комплексная оценка сейсмической опасности площадки ЗАЭС для ПЗ и МРЗ в баллах шкалы EMS-98 и пиковых ускорений (непосредственно для промплощадки ЗАЭС для уровня ПЗ –  $80\text{--}80\text{ см/с}^2$ , МРЗ –  $110\text{--}115\text{ см/с}^2$ ).

Процедура получения спектра ответа и акселерограмм на поверхности грунта промплощадки является финалом первого этапа исследований и в условиях ЗАЭС сводилась к следующим пунктам:

- 1) анализ и сравнение стандартных спектров ответа, приведенных в нормативных документах, и спектров ответа, рассчитанных на основании NGA моделей для события уровня МРЗ из удаленной зоны (зона Вранча) и местной зоны (Конкский разлом);
- 2) учет локальных резонансных условий, обусловленных особенностями геологического строения и физическими свойствами разреза промплощадки ЗАЭС, для различных спектров ответа;
- 3) построение обобщенного спектра ответа;
- 4) генерация трехкомпонентных синтетических акселерограмм.

Остановимся на получении спектров ответа более подробно, так как именно эта процедура представляет наибольший интерес для инженеров-проектировщиков, вы-

полняющих дальнейшие расчеты на динамические воздействие зданий, сооружений и оборудования АЭС.

Обобщенные спектры приводятся в большинстве строительных норм. Эти спектры в широком диапазоне частот имеют устойчивый уровень и позволяют избежать необоснованного занижения (или завышения) сейсмических воздействий в отдельных интервалах частотного диапазона. Обычно спектры ответа представлены в нормативах в виде спектров коэффициентов динамичности  $\beta$ .

Наряду со спектрами из нормативов, в последнее десятилетие широкое применение получили подходы расчета спектров ответа, разработанные в рамках проекта NGA [8], [13]. Данные расчеты позволяют смоделировать спектры ответа для сейсмического события в некоторой заданной точке с учетом конкретной сеймотектонической ситуации региона исследований.

Это особенно актуально в условиях слабой сейсмичности Восточно-Европейской платформы и Украинского щита в частности. Для площадки ЗАЭС получение записи события уровня МРЗ и даже ПЗ оказывается маловероятным в реальные временные сроки. Записи же слабых событий имеют существенно иные спектры ответа.

Результаты сопоставления спектров коэффициентов динамичности  $\beta$  согласно моделям NGA и стандартных спектров коэффициентов динамичности  $\beta$  по различным строительным нормам представлены на рисунке 1.

На основании выполненного сопоставления было принято решение использовать для дальнейших расчетов четыре спектра (рис. 2), которые, с одной стороны, удовлетворяют нормативным спектрам, а с другой – моделируют спектры ответа для события уровня МРЗ из удаленной зоны (зона Вранча) и местной зоны (Конкский разлом).

Для спектров ответа, показанных на рисунке 2, были сгенерированы наборы акселерограмм. В случае заданного спектра ответа акселерограмма может быть сгенерирована с учетом известных алгоритмов, например [3]. При этом получают синтетическую ак-

селерограмму со случайной фазой (фазовые углы представляют собой равномерно распределенные в интервале от 0 до  $2\pi$  случайные величины).

Оценка влияния толщи осадочных пород на трансформирование сейсмического сигнала осуществлялась пересчетом акселерограммы со «скалы» (кристаллического фундамента) на дневную поверхность. Расчеты выполнялись с использованием программы SHAKE. В основу работы алгоритма положен метод решения Канаи волнового уравнения и алгоритмы быстрого Фурье-преобразования. В ходе вычислений определяется передаточная функция среды (частотная характеристика среды) для случая нормального падения плоской поперечной волны на горизонтально-слоистую толщу. В условиях многометровой осадочной толщи в районе промплощадки ЗАЭС расчеты выполнялись в рамках нелинейной неупругой среды. Передаточная функция среды для территории промплощадки ЗАЭС, рассчитанная с учетом реальных геологических условий и скоростной модели по данным скважинной сейсморазведки, показана на рисунке 3. Вид передаточной функции среды определяет особенности спектра колебаний на поверхности грунтовой толщи. Так, резонансным максимумам соответствуют области усиления в спектре ответа.

Примеры сопоставления спектров коэффициентов динамичности до и после учета локальных резонансных условий под промплощадкой ЗАЭС представлены на рисунке 4. Как видно из графика передаточной функции среды, основной резонансный максимум соответствует частоте 1 Гц, на этой же частоте имеется максимум в спектре ответа после пересчета акселерограммы со «скалы» на поверхность грунтовой толщи.

Обобщенный спектр строился как огибающая всех спектров с учетом локальных резонансных условий. На рисунке 5 представлен обобщенный спектр коэффициентов динамичности  $\beta$ , построенный по спектрам ответа после учета локальных резонансных условий промплощадки ЗАЭС.

Сопоставление со спектрами коэффициентов динамичности различной вероятности

непревышения показывает, что обобщенный спектр для всего диапазона частот более консервативен, чем спектр с 84 % вероятностью непревышения, что удовлетворяет требованиям норматива НП-031-01 [2].

Обобщенный спектр использовался для генерации синтетических трехкомпонентных акселерограмм.

Генерация осуществлялась с учетом требований норматива РБ-06-98. Амплитуды горизонтальных компонент акселерограмм принимались равными, амплитуда вертикальной компоненты, согласно нормативам НП-031-01 и РБ-06-98, равна  $2/3$  от горизонтальной.

Согласно результатам оценки сейсмичности площадки ЗАЭС, горизонтальные компоненты акселерограмм, моделирующих событие уровня МРЗ, нормировались на  $115 \text{ см/с}^2$ , вертикальные на  $77 \text{ см/с}^2$ .

Для акселерограмм, моделирующих событие уровня ПЗ, горизонтальные компоненты нормировались на  $85 \text{ см/с}^2$ , вертикальные на  $57 \text{ см/с}^2$ .

На основании предыдущего этапа, а именно полученного спектра ответа и акселерограмм на поверхности грунта промплощадки ЗАЭС, произведен анализ сейсмостойкости здания реакторного отделения № 1 с учетом взаимодействия с грунтовым основанием.

Анализ сейсмостойкости здания реакторного отделения № 1 с учетом взаимодействия с грунтовым основанием был разделен на четыре этапа:

1) построение конечноэлементной модели реакторного отделения типа ВВЭР-1000;

2) расчет эквивалентных динамических характеристик основания для учета взаимодействий в системе «сооружение-основание»;

3) разработка динамической модели здания с целью получения расчетных воздействий на уровне подошвы фундамента конструкции;

4) расчет сейсмостойкости конечноэлементной модели реакторного отделения на сейсмическое воздействие, полученное на основании предыдущих этапов.



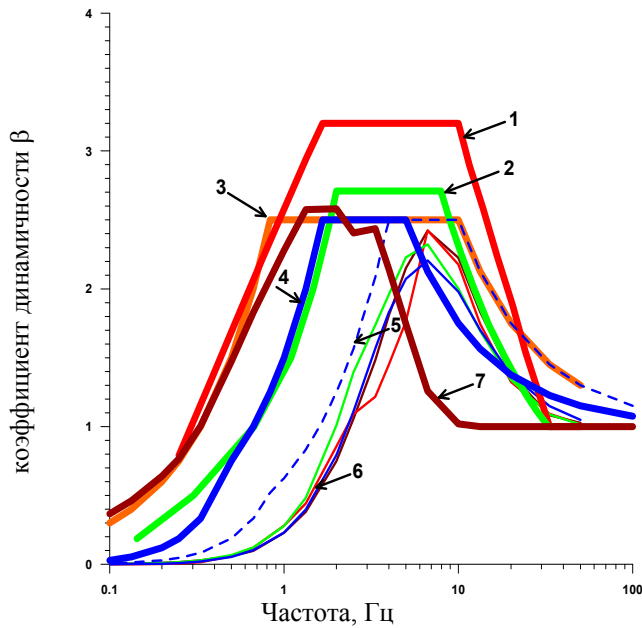


Рис. 1. Сопоставление стандартных спектров коэффициентов динамичности  $\beta$  ( $\delta = 5\%$ ) и спектров коэффициентов динамичности  $\beta$  ( $\delta = 5\%$ ) согласно моделям NGA: 1 - НП-031-01; 2 - NUREG/CR-0098; 3 - ДБН В.1.1-12:2006; 4 - Eurocode 8 (для  $M \geq 5,5$ ); 5 - Eurocode 8 (для  $M < 5,5$ ); 6 - модели NGA, рассчитанные для местной «Конкской» зоны ВОЗ; 7 - модель NGA, рассчитанная для удаленной зоны ВОЗ «Вранча»

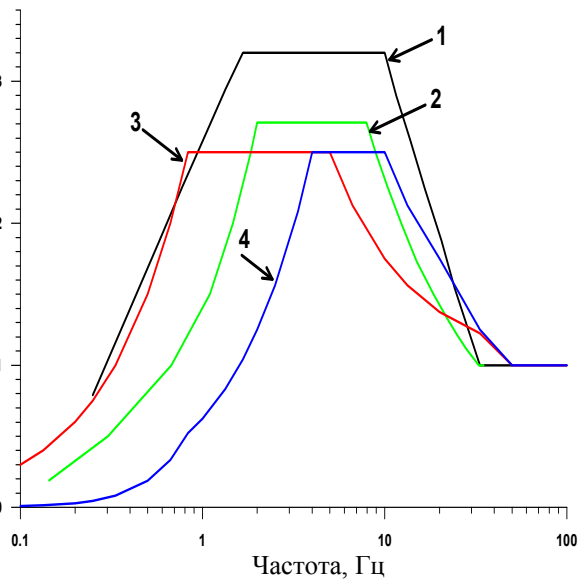


Рис. 2. Спектры коэффициентов динамичности  $\beta$  ( $\delta = 5\%$ ), использованные для генерации акселерограмм: 1 - НП-031-01; 2 - NUREG/CR-0098; 3 - удаленная зона ВОЗ; 4 - местная зона ВОЗ

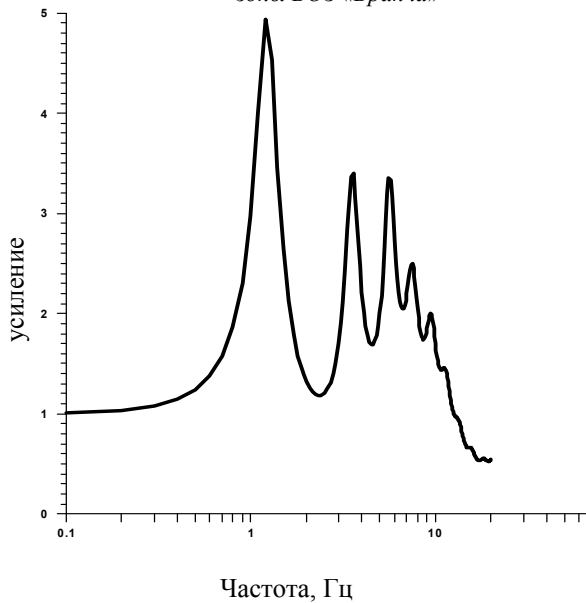


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика среды в пределах промплощадки ЗАЭС (неупругая нелинейная модель среды)

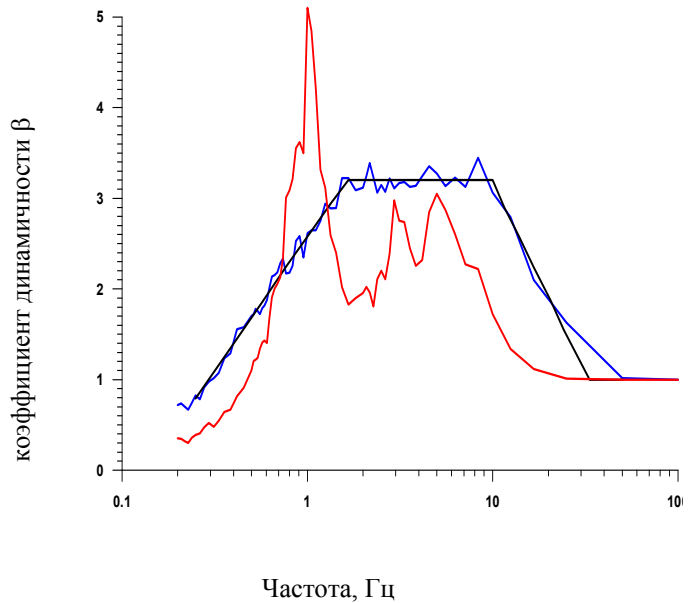


Рис. 4. Пример трансформации спектра коэффициентов динамичности  $\beta$  (по НП-031-01,  $\delta = 5\%$ ) после учета локальных условий в пределах промплощадки ЗАЭС

**Построение конечноэлементной модели реакторного отделения № 1 Запорожской АЭС.** В качестве основных источников информации, необходимых для построения расчетной конечноэлементной модели реакторного отделения № 1 Запорожской АЭС (в частности, сведения о кон-

структивной схеме и характеристиках материалов конструктивных элементов), использовалась техдокументация на строительные конструкции энергоблока № 1. Построение конечноэлементной модели производилось в среде расчетного комплекса Robot Structural Analysis Professional 2013 (RSA Pro 2013).

При моделировании использовался принцип построения более общей т. н. геометрической модели сооружения, состоящей из элементов более высокого порядка. Нагрузки, связи и свойства материалов и элементов накладывались на геометрическую модель, на основании которой препроцессором генерировалась КЭ модель. Конечноэлементная модель реакторного отделения № 1 Запорожской АЭС представлена на рисунке .б.

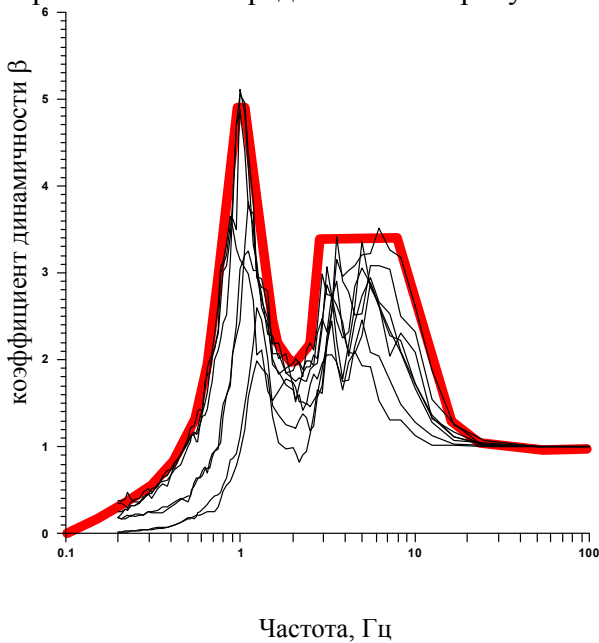


Рис. 5. Обобщенный спектр коэффициентов динамичности  $\beta$  ( $\delta = 5\%$ ) на свободной поверхности промплощадки ЗАЭС

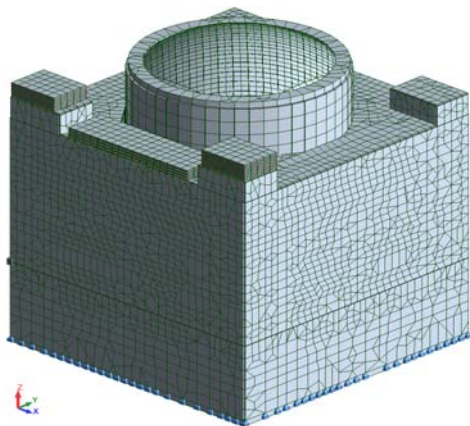


Рис. 6. Конечноэлементная модель реакторного отделения № 1 Запорожской АЭС. Общий вид

**Расчет обобщенных динамических характеристик основания.** В рамках данной работы в качестве рабочего метода моделирования взаимодействия основания и сооружения принят метод эквивалентных

динамических характеристик основания, определяемых по методике, предложенной проф. Дж. Газетасом [10].

Данный метод представляет собой совокупность пружин и демпферов, присоединенных к фундаментной плите и характеризующих жесткость и рассеивание энергии в основании. В данном случае их двенадцать: шесть пружин, задающих жесткости при поступательных и вращательных перемещениях фундамента по трем осям, и шесть соответствующих демпферов. Для определения эквивалентных динамических характеристик основания по методике Дж. Газетаса подход представлен в виде простых алгебраических формул и безразмерных графиков, охватывающих широкий диапазон возможных характеристик геометрии фундамента.

Расчет обобщенных характеристик основания производился с учетом особенностей массива грунта (глубина заложения фундамента и физико-механические свойства грунта под подошвой фундамента). Результаты расчета эквивалентных динамических характеристик основания сведены в таблицу.

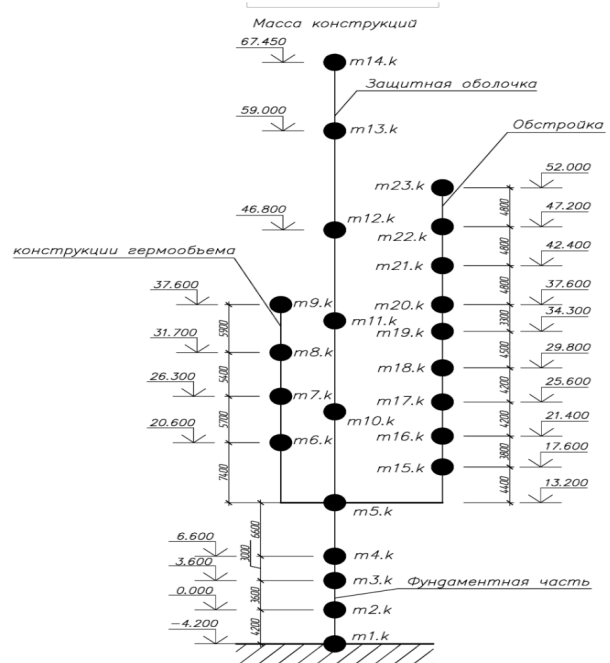


Рис. 7. Стержневая расчетная динамическая модель реакторного отделения

**Разработка динамической модели сооружения.** В соответствии с целями исследова-

дования (определение сейсмостойкости сооружения с учетом взаимодействия с основанием), для дальнейшего расчета трехмерной КЭ модели здания необходимо определить расчетное сейсмическое воздействие на уровне подошвы фундамента со-

оружения с учетом эффектов взаимодействия сооружения с основанием. Для этого, согласно требованиям [4] и рекомендациям [1; 7], была создана упрощенная расчетная конечноэлементная динамическая модель здания (рис.7).

Таблица

Эквивалентные динамические характеристики основания реакторного отделения № 1 Запорозькой АЭС

Направление колебаний	Эквивалентные жесткости	Эквивалентные затухания
Горизонтальные	$K_x = 29300000$ , кН/м $K_y = 29300000$ , кН/м	$C_x = 2759900$ , кНс/м $C_y = 2759900$ , кНс/м
Вертикальные	$K_z = 36200000$ , кН/м	$C_z = 4255400$ , кНс/м
Качание в вертикальной плоскости	$K_t = 47284000000$ , кНм	$C_t = 1030451000$ , кНсм
Поворот в горизонтальной плоскости	$K_{rx} = 28359500000$ , кНм $K_{ry} = 28359500000$ , кНм	$C_{rx} = 741907200$ , кНсм $C_{ry} = 741907200$ , кНсм

Динамическая модель представлена в виде четырех стержней с массами переменной жесткости, моделирующих основные составные части здания реакторного отделения: защитную оболочку, обстройку, конструкции гермообъема и фундаментную часть (рис.7).

В качестве сосредоточенных масс, приложенных в уровне перекрытий, принимались: масса самих перекрытий, масса оборудования, масса части здания между перекрытиями и вертикальные статические нагрузки (снег, технологические и т. п.).

Для получения расчетных акселерограмм был выполнен анализ взаимодействия в системе «грунт – конструкция». Данный анализ производился путем наложения полученных обобщенных параметров основания на разработанную динамическую модель здания, эквивалентную по массе и частоте реальной рассматриваемой системе (расчетной схеме конструкции), и получение откорректированного сейсмического воздействия для рассматриваемой системы на уровне подошвы фундамента конструкции (рис.8).

Данный расчет позволил учесть эффекты взаимодействия модели с основанием, причем прохождение сейсмического воздействия через сжимаемую среду с учетом геофизических условий площадки учитывалось путем использования в качестве исходных данных сейсмического воздействия на уровне свободной поверхности.

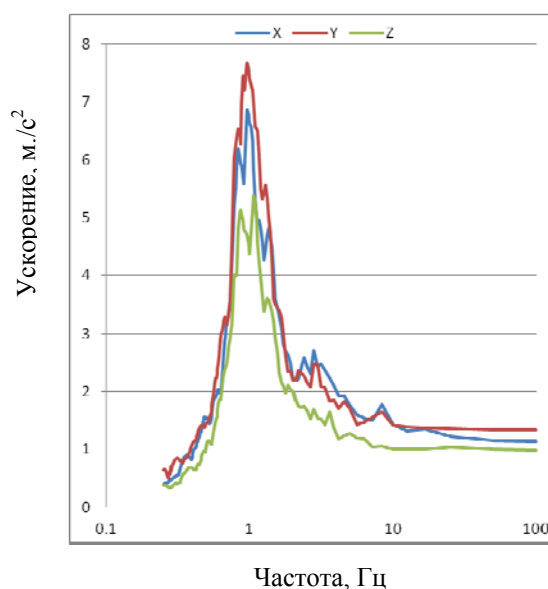


Рис. 8. Откорректированное сейсмическое воздействие на уровне подошвы фундамента

**Расчет сейсмостойкости реакторного отделения Запорозькой АЭС.** Расчет конечноэлементной модели проводился путем прямого динамического анализа в расчетном комплексе RSA Pro 2013. Для этого к модели прикладывались динамические нагрузки, моделирующие сейсмическое воздействие заданной интенсивности в трех направлениях (x, y, z). Исходными данными являлись акселерограммы в уровне подошвы фундамента с учетом взаимодействия сооружения и основания.

В результате расчета были получены деформации, компоненты внутренних усилий (осевые усилия, мембранные усилия, внутренние моменты в стержнях и оболоч-

ках), которые служат исходными данными для проверки работоспособности (сейсмостойкости) элементов конструкций рассматриваемого здания и последующей оценки технического состояния здания с учетом эффектов взаимодействия основания и сооружения.

**Выводы.** В ходе исследования была произведена оценка сейсмичности площадки и получены спектры ответа и соответствующие им акселерограммы на свободной поверхности, выполнен анализ сейсмостойкости здания повышенной категории ответственности на примере реакторного отделения №1 ЗАЭС с учетом эффектов взаимодействия основания и сооружения. В процессе работы была выполнена комплексная оценка сейсмической опасности пло-

щадки ЗАЭС для ПЗ и МРЗ, а также рассмотрена и реализована методика моделирования эквивалентных динамических характеристик основания при сейсмических воздействиях. Данная методика позволяет с достаточной точностью учесть эффекты взаимодействия основания и сооружения. Показано, что для корректной оценки сейсмостойкости сооружений необходим учет их взаимодействия с основанием в процессе сейсмических колебаний, т. к. при прохождении воздействия через грунтовую толщу существенно изменяется характер сейсмического воздействия. Выполнен анализ внутренних усилий и напряжений, возникающих в элементах конструкций реакторного отделения в системе «грунтовое основание – сооружение» при сейсмическом воздействии.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бирбраер А. Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость / А. Н. Бирбраер. – Санкт-Петербург : Наука, 1998. – 255 с.
2. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ : ДБН В.1.2-14:2009 / Мінрегіонбуд України. – [Чинні від 2009-12-01]. – Київ, 2009. – 45 с.
3. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций : ПНАЭ Г-05-006-87 / Государственный комитет СССР по надзору за безопасным ведением работ в атомной энергетике (Госатомэнергонадзор СССР). – Введ. 1988-07-01. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 28 с.
4. Ньюмарк Н. М. Основы сейсмоактивного строительства / Н. М. Ньюмарк, Э. Розенблот ; сокращ. пер. с англ. Г. Ш. Подольского ; под ред. Я. М. Айзенберга. – Москва : Стройиздат, 1980 – С. 61-99.
5. Строительство в сейсмических районах Украины : ДБН В.1.1-12:2014 / Минрегион Украины. – [Взамен ДБН В.1.1-12:2006 ; введ. 01-10-2014]. – Киев, 2014. – 110 с.
6. Тяпкин А. Г. Расчет сооружений на сейсмические воздействия с учетом взаимодействия с грунтовым основанием / А. Г. Тяпкин. – Москва : АСВ, 2013. – 392 с.
7. Уздин А. М. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений / А. М. Уздин, Т. А. Сандович, Аль-Насер-Мохомад Самих Амин. – Санкт-Петербург : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1993. – 176 с.
8. Comparisons of the NGA ground-motion relations / N. Abrahamson, G. Atkinson, D. Boore, Y. Bozognia, K. Campbell, B. Chiou, I. Idriss, W. Silva, R. Youngs // Earthquake Spectra. – 2008. – Vol. 24, № 1. – P. 45-66.
9. Datta T. K. Seismic analysis of structures / T. K. Datta. – Singapore : John Wiley & Sons (Asia), 2010. – 464 p.
10. Wolf J. P. Dynamic soil structure interaction / John P. Wolf. – New Jersey, 1985. – 466 p.
11. Foundation engineering handbook (Hardcover) / ed. by Hsai-Yang Fang. – 2d edition. – New York : Chapman and Hall, 1991. – 923 p.
12. Seismic hazards in site evaluation for nuclear installations : safety guides No. SSG-9 / International atomic energy agency. – Vienna, 2010. – 60 p.
13. Stafford P. J. An evaluation of the applicability of the NGA models to ground-motion prediction in the Euro-Mediterranean region / P. J. Stafford, F. O. Strasser, J. J. Bommer // Bulletin of earthquake engineering. – 2008. – Vol. 6. – P. 149-177.
14. Nonlinear Horizontal Site Response for the NGA-West2 Project : PEER Report 2013/12 Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley / Ronnie Kamai, Norman A. Abrahamson, Walter J. Silva. – 2013. – May. – 97 p.
15. Seismic hazards in site evaluation for nuclear installations : Specific safety guide No SSG-9 / International atomic energy agency. – Vienna, 2010. – 80 p.

## REFERENCES

1. Birbraer A.N. Raschet konstruksiy na seymostojkost' [Calculation of structures for seismic resistance]. Sankt-Peterburg: Nauka, 1998, 255 p. (in Russian).
2. Minregionbud Ukrainy. Zagal'ni pryntsypy zabezpechennia nadiynosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel, sporud, budivelnikh konstruksiy ta osnov: DBN V.1.2-14:2009 [General principles of reliability and constructive safety of buildings, structures and foundations: SCN V.1.2-14:2009]. Kyiv, 2009, 45 p. (in Ukrainian).
3. Gosatomenergondzor SSSR. Normy proektirovaniya seymostoykikh atomnykh stantsiy: PNAE G-05-006-87 [The norms of designing of seismic resistant nuclear power plants: PNAE G-05-006-87]. Moscow: Energoatomizdat, 1989, 28 p. (in Russian).
4. N'yumark N. and Rozenblyut E. Osnovy seymoaktivnogo stroitel'stva [Fundamentals of seismic active construction]. Moscow: Stroyizdat, 1980, pp. 61-99. (in Russian).
5. Minregionbud Ukrainy. Stroitel'stvo v seymicheskikh rayonakh Ukrainy: DBN V.1.1-12:2014 [Construction in seismic regions of Ukraine: SCN V.1.1-12:2014]. Kiev, 2014, 110 p. (in Russian).
6. Tyapkin A.G. Raschet sooruzheniy na seymicheskie vozdeystviya s uchetom vzaimodeystviya s gruntovym osnovaniem [Calculation of structures on seismic impacts, taking into account the interaction with the soil foundation]. Moscow: ASV, 2013, 392 p. (in Russian).
7. Uzdin A.M., Sandovich T.A. and Al'-Naser-Mokhomad S.A. Osnovy teorii seymostoykosti i seymostoykogo stroitel'stva zdaniy i sooruzheniy [Fundamentals of the theory of seismic resistance and seismic resistance construction of buildings and structures]. Sankt-Peterburg: VNIIG im. B.E. Vedeneeva, 1993, 176 p. (in Russian).
8. Abrahamson N., Atkinson G., Boore D., Bozognia Y., Campbell K., Chiou B., Idriss I., Silva W. and Youngs R. Comparisons of the NGA ground-motion relations. *Earthquake Spectra*. 2008, vol. 24, no. 1, pp. 45-66.
9. Datta T.K. *Seismic analysis of structures*. Singapore: John Wiley & Sons (Asia), 2010, 464 pp.
10. Wolf J.P. *Dynamic soil structure interaction*. New Jersey: Prentice-Hall, 1985, 466 p.
11. Fang H.Y., ed. *Foundation engineering : handbook*. 2nd edition. London: Springer, 1990, 923 p.
12. International atomic energy agency. *Seismic hazards in site evaluation for nuclear installations: Specific safety guide No SSG-9*. Vienna, 2010, 60 p.
13. Stafford P.J., Strasser F.O. and Bommer J.J. An evaluation of the applicability of the NGA models to ground-motion prediction in the Euro-Mediterranean regionю. *Bulletin of earthquake engineering*. 2008, Vol. 6, pp. 149-177.
14. Kamaï R., Norman A.A. and Walter J.S. *Nonlinear Horizontal Site Response for the NGA-West2 Project : PEER Report 2013/12 Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley*. 2013, may, 97 p.
15. International atomic energy agency. *Seismic hazards in site evaluation for nuclear installations : Specific safety guide No SSG-9*. Vienna, 2010, 80 p.

Рецензент: д-р т. н., проф. М. В. Савицький

Надійшла до редколегії: 18.08.2015 р. Прийнята до друку: 29.08.2015 р.

УДК 666.914.5:663.543:002.68

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ФОСФОГИПСА И РАСТВОРА ЖЕЛЕЗНОГО КУПОРОСА НА МЕХАНИЗМ ТВЕРДЕНИЯ МАГНЕЗИАЛЬНО-БИШОФИТНОЙ КОМПОЗИЦИИ

ДЕРЕВ'ЯНКО В. Н.<sup>1\*</sup>, д. т. н., проф.,МАКСИМЕНКО А. А.<sup>2</sup>, к. т. н.,ГРИШКО А. Н.<sup>3</sup>, к. т. н., ст. преп.

<sup>1\*</sup> Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднeпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562) 47-16-22, e-mail: derev@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

<sup>2</sup> Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций (НИ группа), Приднeпровский научно-образовательный институт инновационных технологий в строительстве ГБУЗ ПГАСА, ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: maksimebel@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5002-6266

<sup>3</sup> Кафедра эксплуатации гидромелиоративных систем и технологии строительства, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова 25, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562) 713-51-37, e-mail: gryshko\_anna@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

**Аннотация. Постановка проблемы.** Фосфогипс является очень чистым сырьем [16], обладает негативной, с технической точки зрения, вытянутой формой кристаллов двугидрата кальция (из-за условий образования), которая остается такой как после дегидратации в сухой атмосфере, так и после размола, что создает технические трудности дальнейшей переработки продукта в вяжущее вещество. Также водостойчивость и пластичные свойства магниезиальных растворов могут быть улучшены добавкой первичных и вторичных фосфатов без снижения прочности. Известные специалисты по фосфогипсу Ю. П. Мещеряков и Н. А. Колев [8] установили, что при введении фосфогипса вместо природного гипса при помоле портландцемента для регулирования сроков схватывания смеси происходило сокращение времени схватывания с 1 ч 55 мин до 1 ч 36 мин (при введении 4 %), а конец схватывания снижался с 6 ч 15 мин до 1 ч 42 мин. После помола фосфогипса образуется свежая поверхность, на которой происходит явление эмиссии электронов, но эмитирует не вся поверхность, а только активные центры, где напряженность поля достигает 108 В/см. Положительно заряженные активные центры имеют небольшую концентрацию на поверхности  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . **Цель исследования** - определение оптимального количества вводимого фосфогипса и раствора железного купороса, а также исследование их влияния на механизм твердения магниезиально-бишофитной композиции. **Вывод.** Для увеличения сульфатной составляющей, необходимой для снижения кристалличности [10] и уплотнения магниезиального камня [4] в состав композиции был введен раствор железного купороса, анионы которого немедленно поляризуют свободные ионы кальция с образованием  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Эксперименты П. П. Будкова [8] свидетельствуют: чем больше соотношение между магниезиальным цементом и сульфатом камня, тем меньше сроки схватывания композиции и тем выше прочность при растяжении камня. Еще В. В. Щелягин [15] рекомендовал вводить в магниезиально-бишофитную композицию сернокислотную закись железа, образующуюся в ваннах по травлению черного металла серной кислотой. Растворами железного купороса  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  исследователь заменял до 50 % раствора хлористого магния  $\text{MgCl}_2$  и увеличивал, в конечном итоге, водостойкость камня. Он также установил, что железный купорос ускоряет сроки схватывания магниезиальных смесей и уменьшает возможность образования выцветов на изделиях. Таким образом, по результатам проведенных исследований введение 5 % фосфогипса в магниезиально-бишофитную композицию является оптимальным. Добавка снижает сроки схватывания смеси и повышает прочность камня, а совместно с 5 % добавкой железного купороса способствует формированию уплотняющего новообразования из  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . В результате коагуляции пор частицами дигидрата и клеящими чешуйками  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  улучшаются деформационные явления в процессе твердения образцов, снижается их водопоглощение, повышается прочность.

**Ключевые слова:** твердение, добавка, магниезиально-бишофитная композиция, фосфогипс, железный купорос, сроки схватывания, водопотребность, затворение

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК ФОСФОГИПСУ ТА РОЗЧИНУ ЖЕЛЕЗНОГО КУПОРОСУ НА МЕХАНІЗМ ТВЕРДІННЯ МАГНЕЗИАЛЬНО-БИШОФІТНОЇ КОМПОЗИЦІЇ

ДЕРЕВ'ЯНКО В. М.<sup>1\*</sup>, д. т. н., проф.,МАКСИМЕНКО А. А.<sup>2</sup>, к. т. н.,

ГРИШКО Г. М.<sup>3</sup>, к. т. н., ст. викл.

<sup>1\*</sup> Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(0562) 47-16-22, e-mail: derev@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

<sup>2\*</sup> Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, (НД) Придніпровський науково-освітній інститут інноваційних технологій в будівництві ДВНЗ ПДАБА, вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: maksimebel@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5002-6266

<sup>3\*</sup> Кафедра експлуатації гідромеліоративних систем і технології будівництва, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова 25, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 713-51-37, e-mail: gryshko\_anna@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

**Анотація. Постановка проблеми.** Фосфогіпс - дуже чиста сировина [16], має негативну, з технічної точки зору, витягнуту форму кристалів дигідрату кальцію (через умови утворення), яка залишається такою як після дегідратації в сухій атмосфері, так і після помелу, що створює технічні труднощі подальшої переробки продукту у в'язучу речовину, з тих же джерел водостійкості і пластичні властивості магнезійних розчинів можуть бути поліпшені добавкою первинних і вторинних фосфатів без зниження міцності. Відомі спеціалісти з фосфогіпсу Ю. П. Мещеряков і М. А. Колев [8] установили, що при введенні фосфогіпсу замість природного гіпсу при помелі портландцементу для регулювання строків тужавлення суміші відбувалося скорочення часу тужавлення з 1 год 55 хв до 1 год 36 хв (при введенні 4 %), а час кінця тужавлення знижується з 6 год 15 хв до 1 год 42 хв. Після помелу фосфогіпсу утворюється свіжа поверхня, на якій відбувається явище емісії електролітів, але емітує не вся поверхня, а тільки активні центри, де напруга поля досягає 108 В/см. Позитивно заряджені активні центри мають невелику концентрацію на поверхні  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . **Мета дослідження -** визначення оптимальної кількості введеного фосфогіпсу і розчину залізного купоросу, а також дослідження їх впливу на механізм твердіння магнезійно-бішофітної композиції. **Висновок.** Для підвищення сульфатної складової, необхідної для зниження кристалічності [10] і ущільнення магнезійного каменю [4], до складу композиції було введено розчин залізного купоросу, аніони якого негайно поляризують вільні іони кальцію з утворенням  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Експерименти П. П. Будкова [8] свідчать: чим більше співвідношення між магнезійним цементом і сульфатом каменю, тим менші строки тужавлення композиції і тим вища міцність на розтягнення каменю. Ще В. В. Щелягін [15] рекомендував вводити в магнезійно - бішофітну композицію сірчаноокислотний закис заліза, який утворюється в ваннах для травлення чорного металу сірчаною кислотою. Розчинами залізного купоросу  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  дослідник замінював до 50 % розчину хлористого магнію  $\text{MgCl}_2$  і підвищував, у кінцевому рахунку, водостійкість каменю. Він також установив, що залізний купорос прискорює строки тужавлення магнезійних сумішей і зменшує можливість утворення вицвітів на виробках. Таким чином, за результатами проведених досліджень уведення 5 % фосфогіпсу в магнезійно-бішофітну композицію є оптимальним. Добавка знижує строки тужавлення суміші і підвищує міцність каменю, а спільно з 5 % добавкою залізного купоросу сприяє формуванню ущільнювального новоутворення з  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . У результаті колювальної пор частками дегідрату і клеючими частинками  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  поліпшуються деформативні явища в процесі твердіння зразків, знижується їх водопоглинання, підвищується міцність.

**Ключові слова:** твердіння, добавка, магнезійно-бішофітна композиція, фосфогіпс, залізний купорос, строки тужавлення, водопотреба, затворення

## STUDY OF THE IMPACT OF PHOSPHOGYPSUM ADDITIVE AND FERROUS SULPHATE SOLUTION ON THE MECHANISM OF THE MAGNESIA-BISHOFIT COMPOSITION

DEREVIANKO V. N.<sup>1\*</sup>, Dr. Sc.(Tech.), Prof.,

MAKSIMENKO A. A.<sup>2</sup>, Cand. Sc.(Tech.),

HRYSKO A. N.<sup>3</sup>, Cand. Sc.(Tech.), Ass. Prof.

<sup>1\*</sup>Department of Technology of Construction Materials, Products and Designs, State Institution of Higher Education «Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a Chernyshevsky St., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, Tel. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: derev@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

<sup>2</sup>Department of Technology of building materials, products and designs (SR group) Pridneprovsk scientific-education Institute of innovations technologies in construction SHEI PSAGA, 24-a Chernyshevsky St., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: maksimebel@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5002-6266

<sup>3</sup>Department of Operation of Hydromelioration Systems and Construction Technology, Dnipropetrovsk State Agrarian-Economic University, 25 Voroshylov St., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, Tel. +38 (0562) 713-51-37, e-mail: gryshko\_anna@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

**Summary. Problem statement.** Phosphogypsum is a very pure raw material [16] with a negative, from a technical point of view, elongated shape of calcium dihydrate crystals (due to the formation conditions), which remains the same



after both dehydration in dry air and grinding, this makes technical difficulties relating to further processing of the product into a binder, consequently, water resistance and plasticity of magnesium solutions can be improved by adding primary and secondary phosphates without strength reduction. Famous experts on phosphogypsum Yu. P. Meshcheryakov and N. A. Kolev [8] found, that when adding phosphogypsum instead of natural gypsum during grinding of Portland cement, which is intended to control the setting time of the mixture, there occurred reduction in the initial setting time from 1 h 55 min up to 1 h 36 min (when adding 4 % agent), and the final setting time was decreased from 6 h 15 min up to 6 min. After grinding of phosphogypsum, there appeared a fresh surface, on which the electron emission phenomenon occurs, however, not the entire surface emits, but only the active centres, where field strength reaches 108 V/cm. The positively charged active centres have low  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  concentration on their surface.

**Purpose.** Specifying the optimal amount of phosphogypsum and ferrous sulphate solution added, studying their impact on the curing mechanism of the magnesia-bischofit composition. **Conclusion.** To increase the sulphate compound, required for the crystallinity [10] reduction and magnesia stone sealing [4], the ferrous sulphate solution have been added to the composition formulation, ferrous sulphate anions immediately polarize free calcium ions with the formation of  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . P. P. Budkov's experiments [8] prove that the larger the magnesia cement-to-sulphate stone ratio, the lower the setting time of the composition, and the higher the tensile strength of the stone. Moreover, V. V. Shchelyaghin [15] recommended adding ferrous sulphate, formed in tanks for black metal etching with sulphuric acid, to the magnesia-bischofit composition. The scholar replaced up to 50 % of the magnesium chloride solution  $\text{MgCl}_2$  for the ferrous sulphate solution  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , thus improving water resistance of the stone. He also established that ferrous sulphate accelerates setting time of magnesia mixtures and reduces the chance of efflorescence formation on the product. Therefore, based on the results of the research conducted, 5 % of phosphogypsum is the optimal amount to be added to the magnesia-bischofit composition. The additive reduces the setting time of the mixture and increases the strength of the stone, and together with the 5 % ferrous sulphate additive it enables formation of a sealing newgrowth  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Clogging of pores with dehydrite particles and bonding flakes of  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  improves deformation phenomena during curing of the specimens, reduces their water absorption capacity and increases strength.

**Key words:** curing, additive, magnesia-bischofit composition, phosphogypsum, ferrous sulphate, setting time, water demand, mixing.

**Введение.** Известно [16], что фосфогипс является очень чистым сырьем, обладает негативной, с технической точки зрения, вытянутой формой кристаллов двуводрата кальция (из-за условий образования), которая остается такой как после дегидратации в сухой атмосфере, так и после размола, что создает технические трудности дальнейшей переработки продукта в вяжущее вещество. Также водостойчивость и пластичные свойства магниезальных растворов могут быть улучшены добавкой первичных и вторичных фосфатов без снижения прочности. Благодаря этому во время процесса схватывания образуется кристаллическое новообразование  $\text{CaHPO}_4$  и  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$  с разрастанием кристаллов. Сходство кристаллических структур этих соединений с кристаллической структурой  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  привило исследователей к замене добавки фосфатов на добавки гипса.

Однако в фосфогипсе марки ФГМ (производство ДЗМУ, г. Днепродзержинск) фактическое содержание общего  $\text{P}_2\text{O}_5$  составило 1 %, а водорастворимого - всего 0,2 %.

Растворимые гидрофосфаты кальция ( $\text{CaHPO}_4$ ), изоморфно встроенные в кристаллическую решетку или в тончайшие

пустоты фосфогипса, должны влиять на схватывание магниезально-бишофитной композиции.

**Анализ публикаций.** В работе М. М. Сычева «Ферро- и феррофосфатные цементы» в сборнике [5] представлена таблица соответствий концентраций  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$  (масса %), где  $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,2$  % содержит 0,276 % ортофосфорной кислоты. Из этого же источника известно, что при взаимодействии магниезального цемента с концентрированной  $\text{H}_3\text{PO}_4$  происходит мгновенное схватывание системы, а чем меньше её концентрация, тем медленнее сроки схватывания. Прочность камня также увеличивается при повышении концентрации затворения. Прочность камня в системе  $\text{MgO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{H}_2\text{O}$  зависит от формирующихся новообразований, а ими в интервале  $t = 20 - 30$  °С являются  $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)$  (одно- и двузамещенные фосфаты магния) с переменным содержанием воды. Такому составу соответствует данные работ японских исследователей [17], показавших, что в продуктах твердения магний-фосфатных композиций находятся, в основе, кислые фосфаты магния. Подтверждение находится и в работе [11], где утверждается, что ос-



новой твердой фазой в диапазоне концентраций до 30 %  $P_2O_5$  при  $t = 20 - 90$  °С является  $MgHPO_4 \cdot 3H_2O$ .

После ознакомления с работой [9] оказалось, что содержание  $P_2O_5 = 0,2$  % нельзя назвать незначительным. Авторы, Ю. А. Пирогов и А. И. Фишера (УНИИО), исследовали взаимодействие на периклазовый цемент 14 составов водных растворов одно-, дву- и трех замещенных алюминиевых калиевых и натриевых солей ортофосфорной кислоты, поскольку использование солей  $H_3PO_4$  непригодно из-за мгновенного схватывания смесей. В результате оказалось, что цементосодержащие соли  $P_2O_5 = 0,2$  % имеют сроки схватывания меньше, чем у смесей с электролитом  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  и выше, чем у смесей с электролитами  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , хотя уступают по прочности при сжатии. В работе [8] известные специалисты по фосфогипсу Ю. П. Мещеряков и Н. А. Колев установили, что при введении фосфогипса вместо природного гипса при помеле портландцемента для регулирования сроков схватывания смеси сокращалось время начала схватывания с 1 ч 55 до 1 ч 36 мин (при введении 4 %), а время конца схватывания снижалось с 6 ч 15 мин до 1 ч 42 мин.

Мы с помощью рентгенофазового анализа установили, что структура фосфогипса марки ФГИ, вышедшего из реактора и хранившегося в стволах, идентична – это  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ . После подсушки в сушильном барабане до  $t = 60$  °С и отдельного помола в шаровой мельнице (остаток на сите не меньше 5 %) происходит дегидратация фосфогипса в гипс и остаточный дигидрат. Гидратация  $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$  в растворе с образованием  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  не вызывает сомнений. Дигидрат обладает низкой растворимостью в воде, равной 0,21 г/100 г раствора, и требует для гидратации применения тонкого помола смеси. Присутствие размноженного иона в реагирующей системе способствует повышению растворимости дигидрата [13].

Такими активаторами в системе являются магнезиальный цемент, бишофит и раствор железного купороса.

После помола фосфогипса образуется свежая поверхность, на которой происходит

явление эмиссии электронов, но эмитирует не вся поверхность, а только активные центры, где напряженность поля достигает  $10^8$  В/см. Положительно заряженные активные центры имеют небольшую концентрацию на поверхности  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ . Эти участки-центры способны приобретать электроны и обладают кислотными свойствами ( $pH = 6$ ). Отрицательно заряженные участки способны отдавать с поверхности электроны ( $pH = 8$ ).

Электролит – бишофит – это соль  $MgCl_2$ , растворенная в воде, а вода, по современным представлениям, является трехмерной сеткой из молекул, соединенных водородными связями. Каждая молекула воды может образовывать до четырех водородных связей. Эта сетка существует в интервале температур и давлений, в которых вода находится в жидком состоянии. Суммарная энергия молекулярных связей (электростатической, индукционной и дисперсной) для воды достигает заметной величины 11 ккал/моль (46,09 КДж/моль), что и определяет широкую распространенность воды в качестве жидкости затвердевания. Энергия водородной связи несколько меньше – 5–10 ккал/моль, но у нее в обеспечении клеящих свойств исключительное значение. Наличие водородной связи, например, определяет хорошую адгезию у кислых фосфатов, в то же время гидросиликаты, имеющие более упорядоченную структуру и меньше водородных связей, чем фосфаты, обеспечивают меньшую адгезию.

Несимметричное строение  $H_2O$  вызывает образование полярной связи Н-О (электронная поляризуемость  $\epsilon_P = 2,04$  А), а главным центрами адсорбции для молекул  $H_2O$  в структуре  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  являются катионы кальция (в кристалле  $\epsilon_P CaO = 1,1$  А, а в растворе 0,28 А), вследствие чего вода имеет дипольный момент 1,84 и абсорбируется на катионах  $Ca^{2+}$ . В свою очередь ионы  $Ca^{2+}$  координируют молекулы воды, в результате чего максимальное число молекул  $H_2O$  в первой координационной сфере на поверхности поры дигидрата равно 8, что соответствует толщине адсорбированного

слоя 0,9 нм, а максимальная толщина слоя равна 1,8 нм.

При взаимодействии с поверхностью вода может быть связана не только катионами, но и с анионами, а взаимодействие между ионами и полярными молекулами воды ведет к образованию гидратной (сольватной) оболочки. Когда вода входит в решетку кристалла, то, оказывая поляризующее действие, нарушает равновесное чередование знаков заряда. Пустота может иметь любой заряд: если она образуется за счет «потери» аниона, то заряд пустоты будет отрицательным, если за счет катиона, то положительным. Для разрыва связей Ca-O в дигидрате достаточно полярности молекул H<sub>2</sub>O.

Адсорбция молекул H<sub>2</sub>O поверхностями атомов кальция реализуется за счет как водородных связей, так и донорно-акцентных явлений [14]. В результате происходит расширение межслоевых расстояний, что приводит к удлинению и ослаблению связей – O-Ca-O- [6]. Адсорбция молекул H<sub>2</sub>O в межслоевых пространствах внутри кристалла дигидрата происходит на тех же адсорбционных центрах-катионах кальция, находящихся между слоями, поэтому межслоевые Ca<sup>2+</sup> связаны с двумя атомами кислорода. Согласно правилу Полинга, поверхностные катионы являются более сильными центрами адсорбции для первых H<sub>2</sub>O, чем межслоевые. Межслоевые катионы Ca<sup>2+</sup>, с одной стороны, взаимодействуют с атомами кислорода слоев, а с другой, они абсорбируют молекулы воды.

Координирующие число катиона Ca<sup>2+</sup> равно сумме чисел анионов O<sup>2-</sup> и молекул H<sub>2</sub>O. По правилу Полинга, энергия катиона делится поровну между всеми аддендами, входящими в его координационную сферу. Молекулы воды, координированные катионами Ca<sup>2+</sup> в катионах –O-Ca-O- между кристаллами дигидрата снижают прочность и увеличивают длину межкристаллических связей –O-Ca-O-, что, в свою очередь, приводит к снижению прочности межкристаллических фазовых контактов. По [3; 7; 12], изменение этих факторов между кристаллами дигидрата подчиняется тем же законам,

что и изменение межслоевых связей – O-Ca-O- внутри кристалла.

Снижение прочности этих связей в зависимости от входа первых молекул воды в координационные сферы микрокристаллических катионов Ca, рассчитанные по правилу Полинга, составляет 33 % [3; 7; 12]. Последующее увеличение количества проникающей воды способствует отрыву Ca<sup>2+</sup> и переводу его в водный раствор электролита.

Здесь главным фактором является воздействие электролита-бишофита на частицы гипса, т. к. электронная поляризуемость иона хлора в водных растворах составляет 3,59 А, а поляризуемость иона кальция в тех же условиях равна 0,28 А и далее, в кристалле поляризуемость Ca<sup>2+</sup> не превышает 1,1 А.

Реакционная способность раствора MgCl<sub>2</sub> как активатора ангидрида подчеркивается в работе [2]. При перемешивании составляющих композиции первыми реагируют магниезальный цемент и бишофит. С формированием оксигидрохлоридов ионы магния способствуют переводу иона кальция из гипса в раствор, т. к. силы притяжения  $\rho_{Mg^{2+}} \geq \rho_{Ca^{2+}}$  (1,26 > 1,19) [1]. Кроме того, ион кальция крупнее иона магния, поэтому он создает координационные многогранники, являющиеся переходными от октаэдра (к.ч. = 6) к томсоновскому кубу или другим фигурам, отвечающим координационному числу 8, а повышение к. ч. катиона эквивалентно понижению валентности, что также говорит преобладающей активности иона магния.

Даже если в композиции (системе) имеются два катиона равной валентности (Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>), но с разными к. ч., то катион с меньшим к. ч., кроме вышеперечисленных воздействий, будет связан с атомами кислорода, а катион с большими к. ч. может иметь в своей координационной сфере и одновалентные анионы (Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>). В то же время свободные ионы Mg<sup>2+</sup> подвергаются анионной полярности SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, оставшегося от фосфогипса, т. к. электронная полярность SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> в кристалле составляет 4,91 А, а в растворе 5,83 А, тогда как электронная поляризация Mg<sup>2+</sup> в кристалле составляет 0,8 А, а в рас-

творе (- 0,71 А), поэтому можно рассчитывать на образование  $MgSO_4$ .

Для увеличения сульфатной составляющей, необходимой для снижения кристалличности [10] и уплотнения, магнезиального камня [4], в состав композиции был введен раствор железного купороса, анионы которого немедленно поляризуют свободные ионы кальция с образованием  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ . Количественное соотношение между реагирующими компонентами играет также важную роль и, как показывают эксперименты П. П. Будкова [8], – чем больше соотношение между магнезиальным цементом и сульфатом камня, тем меньше сроки схватывания композиции и тем выше прочность при растяжении камня.

Еще В. В. Щелягин [15] рекомендовал вводить в магнезиально-бишофитную композицию сернокислотную закись железа, образующуюся в ваннах для обработки черного металла серной кислотой. Растворами железного купороса  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  исследова-

тель заменял до 50 % раствора хлористого магния  $MgCl_2$  и увеличивал, в конечном итоге, водостойкость камня. Он также установил, что железный купорос ускоряет сроки схватывания магнезиальных смесей и уменьшает возможность образования выцветов на изделиях.

**Результаты исследований.** Для определения оптимального количества вводимого фосфогипса изготавливались композиции с различным соотношением его с реагирующими компонентами. Из результатов, приведенных в таблице, следует, что при увеличении количества вводимой добавки фосфогипса происходит пропорциональное снижение водопотребностей смесей.

С целью определения влияния фосфогипса и раствора железного купороса на твердение магнезиально-бишофитной смеси проводились экспериментальные исследования схватывания композиции, результаты которых приведены на рисунке 1.

Таблица

Влияние добавки фосфогипса на водопотребность магнезиально-бишофитной смеси

№ образца	Содержание добавки		Нормальная густота %
	масса	%	
1	0	0	44,6
2	10	2,5	44,0
3	20	5,0	43,6
4	30	7,5	43,1
5	40	10,0	41,3
6	50	12,5	41,2
7	60	15,0	40,6

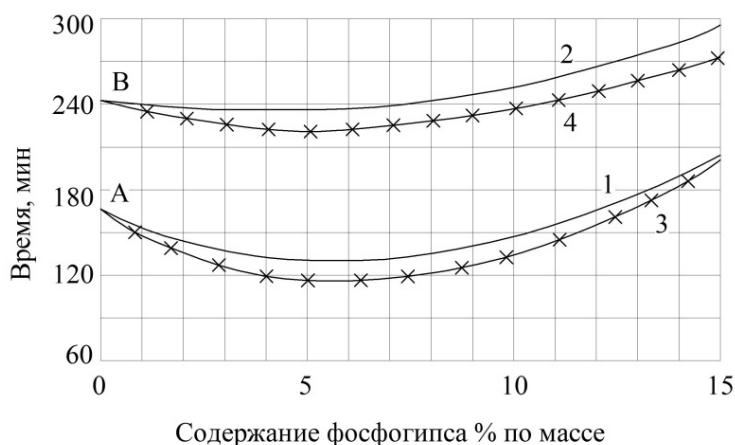


Рис. 1. Зависимость сроков схватывания магнезиально-бишофитной композиции от содержания фосфогипса и постоянном расходе  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , равном 5 %

На рисунке 1 кривые А – начало схватывания, а кривые В – конец схватывания магнезиально-бишофитной смеси без добавок.

Согласно кривой 1, при введении 5 % фосфогипса, содержащегося 0,2 %  $P_2O_5$  в композицию, время начал схватывания смеси

снижается на 30 мин. При повышении количества раствора фосфогипса до 10 % происходит не повышение концентрации  $P_2O_5$  в смеси, а его количественное увеличение в смеси, что приводит к увеличению времени начала схватывания на 15 мин, а при введении 15 % фосфогипса этот процесс роста продлевается еще на 60 мин. На кривой 2 при введении 5 % фосфогипса срок конца схватывания снижался всего лишь на 10 мин. Если количество вводимого фосфогипса увеличивалось до 10 и 15 %, происходило накопление  $P_2O_5$  и резкое увеличение времени конца схватывания композиции из магнезиально-бишофитного раствора с фосфогипсом на 50 мин., достигнув 5 часов.

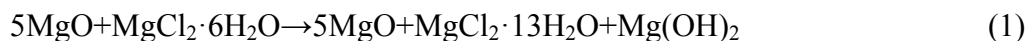
При введении  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  в реагирующую смесь еще больше снижается показатель ее начала схватывания. Максимальное снижение на кривой 3 происходит при добавлении 5 % фосфогипса на 45 мин., а затем, с введением 10 и 15 % фосфогипса, видимо, из-за недостаточного количества железного купороса и с увеличением общего количественного содержания  $P_2O_5$ , наблюдается удлинение срока начала схватывания

на 45 мин и в итоге этот показатель составляет 3 часа 30 мин.

По таким же причинам происходит снижение на кривой 4 времени конца схватывания смеси на 25 мин при введении 5 % фосфогипса и 5 % купороса и его рост с увеличением расхода фосфогипса (10–15 %) при постоянном количестве купороса.

Таким образом, на снижение сроков схватывания магнезиально-бишофитных композиций влияет количество водорастворимых гидрофосфатов кальция. Их больше в 5 % добавке фосфогипса, чем в 10 и 15 % добавке. Введение раствора  $FeSO_4$  также снижает сроки схватывания. Сочетание добавок 5 % фосфогипса и 5 % железного купороса сводит время начала схватывания смеси до 2 часов, а конец схватывания, при тех же соотношениях, составил 3 часа 45 минут.

Гидратация магнезиального цемента бишофитом приводит к образованию гидроксида магния, а также стабильного до 28 суток возраста пентаоксигидрохлорида магния и сопровождается изменениями смеси в объеме в соответствии с реакцией:



$$V_{5MgO} = \frac{m_{Mg} + m_O}{\rho_{MgO}} = \frac{24,312 + 16}{3,48} \times 5 = 57,9 \text{ см}^3 \quad (2)$$

$$V_{MgCl_2 \cdot 6H_2O} = \frac{m_{MgO} + m_{MgCl_2} + m_{6H_2O}}{\rho_{MgCl_2 \cdot 6H_2O}} = \frac{203,312}{1,28} = 158,76 \text{ см}^3 \quad (3)$$

$$V_{5MgO + MgCl_2 \cdot 6H_2O} = 57,9 + 158,76 = 216,66 \text{ см}^3 \quad (4)$$

$$V_{5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O} = \frac{m_{5Mg} + m_O + m_{Mg} + m_{2Cl} + m_{13H_2O}}{\rho_{5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O}} = \frac{530,772}{4,89} = 280,83 \text{ см}^3 \quad (5)$$

$$V_{Mg(OH)_2} = \frac{m_{MgO + Mg(OH)_2}}{\rho_{Mg(OH)_2}} = \frac{58,312}{2,37} = 24,6 \text{ см}^3 \quad (6)$$

$$\sum V_{5MgO + MgCl_2 \cdot 6H_2O} = 216,66 \text{ см}^3 < \sum V_{5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O + Mg(OH)_2} = 305,43 \text{ см}^3, \text{ т. е.}$$

$$\sum V_{\text{начальных продуктов}} < \sum V_{\text{конечных продуктов}} \quad (7)$$

Таким образом, при затворении  $MgO$  бишофитом объем образовавшихся продуктов реакции гидратации увеличивается на 40,84 %, т. е. в процессе затвердения образуется гелеобразный  $Mg(OH)_2$ , вызывающий набухание образца. В случае если гидратация протекает в уже затвердевшей массе и

сопровождается диффузией молекул жидкости через ранее образовавшийся слой гелеобразной гидроокиси магния (в виде полупроницаемой мембраны), возникает гидростатическое давление, вызывающее разрушение мембраны, образование трещин, по которым передвигаются гелеобразные

продукты. Во время увеличения гидростатического давления без образования трещин происходит расширение образцов. Дефор-

мационные процессы в зависимости от времени твердения образцов представлены на рисунке 2.

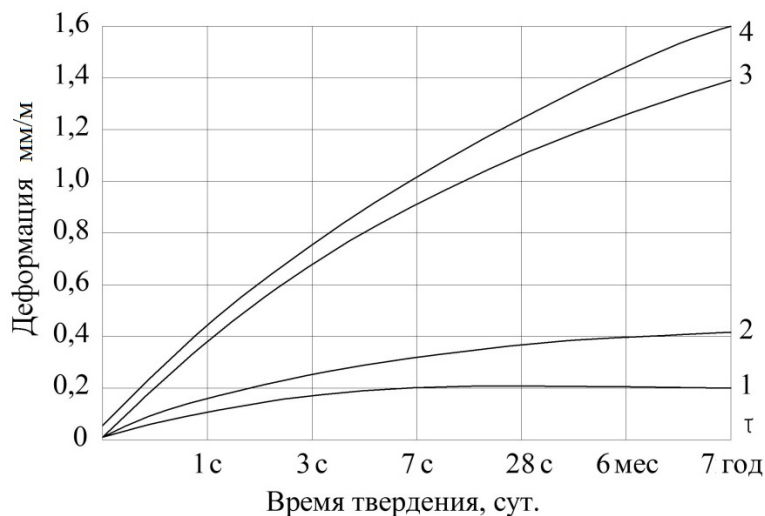


Рис. 2. Зависимость деформационных процессов из магнезиального цемента, затворенного бишофитом, от времени твердения:

1 -- с добавкой 5 % фосфогипса, 5 % железного купороса;  
2 - с добавкой 5 % фосфогипса; 3 - без добавок; 4 - с добавками 10 % фосфогипса

Из расчетов и рисунка 2 видно, что образцам, изготовленным из магнезиального цемента и бишофита, свойственно расширение во время твердения. Добавка 5 % фосфогипса резко снижает расширение образцов с 1,1 мм/м до 0,38 мм/м в возрасте 28 суток. Введение 5 % фосфогипса и 5 % купороса снижает расширение образцов до 0,2% в возрасте 28 суток. Добавка 10 % фосфогипса ведет лишь к большему расширению образцов (1,22 мм/м в возрасте 28 суток).

**Выводы.** Таким образом, по результатам проведенных исследований, введение 5

% фосфогипса в магнезиально-бишофитную композицию является оптимальным. Добавка снижает сроки схватывания смеси и повышает прочность камня, а совместно с 5 % добавкой железного купороса способствует формированию уплотняющего новообразования из  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . В результате коагуляции пор частицами дигидрата и клеящими чешуйками  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  уменьшаются деформационные явления в процессе твердения образцов, снижается их водопоглощение, повышается прочность.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Боженков П. И. Технология автоклавных материалов / П. И. Боженков. – Ленинград : Стройиздат, 1978. – С. 30-35.
2. Справочник по химии цемента / Бутт Ю. М., Волконский Б. В., Егоров Г. Б., Корнеев В. И., Никифоров Ю. В., Сватовская Л. Б., Судакас Л. Г., Сычев М. М., Тимашев В. В. ; под ред. Б. В. Волконского, Л. Г. Судакаса. – Ленинград : Стройиздат, 1980. – 224 с.
3. Войвад А. Я. Магнезиальные вяжущие вещества / А. Я. Войвад. – Рига : Зинатне, 1971. – 331 с.
4. Войтович В. А. Полы на основе магнезиальных вяжущих веществ / В. А. Войтович, Г. В. Спиринов // Строительные материалы. – 2003. – № 9. – С. 8-9.
5. Химические основы технологии и применения фосфатных связок и покрытий / С. Л. Голышко-Вильфсон, М. М. Сычев, Л. Г. Судакас, Л. И. Скобло. – Ленинград : Химия, 1968. – С. 95.
6. Каминкас А. Ю. Новое в технологии изготовления силикатных изделий с применением магниесодержащих вяжущих : обзор / А. Ю. Каминкас. – Москва : ВНИИЭСМ, 1978. – 59 с.
7. Красильников К. Г. Физико-химия собственных деформаций цементного камня / К. Г. Красильников, Л. В. Никитина, Н. Н. Скоблинская. – Москва : Стройиздат, 1980. – 255 с.
8. Мещеряков Ю. Г. Энергосберегающие технологии переработки фосфогипса и фосфолугидрата / Ю. Г. Мещеряков, С. В. Федоров // Строительные материалы. – 2005. – № 11. – С. 56-57.

9. Пирогов Ю. А. Фосфатные связывание периклаза / Ю. А. Пирогов, А. И. Фищерова // Огнеупоры. – 1969. – № 11. – С. 44-47.
10. Плеханова Т. А. Магнезиальные композиционные материалы, модифицированные сульфатными добавками : автореф. дис. на соиск. степени канд. техн. наук : спец. 05.23.05 “Строительные материалы и изделия” / Т. А. Плеханова. – Казань, 2005. – 22 с.
11. Позин М. Е. Новообразования в магнезиофосфатном камне / М. Е. Позин, Б. А. Копылов, М. М. Талмуд // Жилищно-коммунальное хозяйство. – 1965. – № 6. – С. 97-103.
12. Полинг Л. Общая химия / Л. Полинг ; пер. с англ. В. М. Сахарова. – Москва : Мир, 1974. – 846 с.
13. Ратинов В. Б. Добавки в бетон / В. Б. Ратинов, Т. И. Розенберг. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1989. – 188 с.
14. Сычев М. М. Проблемы развития исследований по гидратации и твердению цементов / М. М. Сычев // Цемент. – 1989. – № 1. – С. 26.
15. Щелягин В. В. Магнезиальный цемент. Сырье, технология получения и свойства / В. В. Щелягин. – Москва : Гостройиздат, 1933. – 62 с.
16. Шульце В. Растворы и бетоны на нецементных вяжущих / В. Шульце, В. Тише, В. П. Эттель ; пер. с нем. Т. Н. Олесова. – Москва : Стройиздат, 1990. – С. 226.

## REFERENCES

1. Bozhenov P.I. *Tehnologija avtoklavnyh materialov* [Technology of autoclave materials]. Leningrad: Strojizdat, 1978, pp. 30-35. (in Russian).
2. Butt Ju.N., Volkonskyj B.V., Egorov G.B., Korneev V., Nikiforov Ju.V., Svatovskaya L.B., Sudakas L.B., Sychev M.M. and Timashev V.V. *Spravochnik po himii cementa* [Manual of chemistry cement]. Leningrad: Strojizdat, 1980, 187 p. (in Russian).
3. Vojvad A.Ju. *Magnezial'nye vjzhashhnie veshhestva* [Magnesia cement]. Riga: Znanie, 1971, 331 p.
4. Vojtovich V.A. and Spirin G.V. *Poly na osnove magnezial'nyh vjzhashhnyh veshhestv* [The floor on the basis of magnesia cement]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2003, no. 9, pp. 8-9. (in Russian).
5. Golyanko-Vil'fson S.L., Sychev M.M., Sudakas L.G. and Skoblo L.I. *Himicheskie osnovy tehnologii i primeneniya fosfatnyh svjazok i pokrytij* [The chemical basis of technology and useage of phosphat binders and bonderites]. Leningrad: Himija, 1968, p. 95. (in Russian).
6. Kaminkas A.Ju. *Novoe v tehnologii izgotovlenija silikatnyh izdelij s primeneniem magnijsoderzhashhnyh vjzhashhnyh: obzor* [New in the technology of manufacture of silicate products using magniferous binding material: overview]. Moskva: VNIJeSM, 1978, 60 p. (in Russian).
7. Krasil'nikov K.G., Nikitina L.V. and Skoblinskaya N.N. *Fiziko-himija sobstvennyh deformacij cementnogo kamnja* [physico-chemistry of its own deformation of cement rock]. Moskva: Strojizdat, 1980, p. 255. (in Russian).
8. Meshherjakov Ju.G. and Fedorov S.V. *Jenergoberegajushhie tehnologii pererabotki fosfogipsa i fosfor-polugidrata* [Energy-saving technology of recycling of phosphogypsum and phosphohemihydrat]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2005, no. 11, pp. 56-57. (in Russian).
9. Pirogov Ju.A. and Fishherova A.I. *Fosfatnoe svjazyvanie periklaza* [Phosphate binding of periclase]. *Ogneupory* [Refractories]. 1969, no. 11, pp. 44-47. (in Russian).
10. Plehanova T.A. *Magnezial'nye kompozicionnye materialy, modifitsirovannye sul'fatnymi dobavkami: avtoref. dis. na soisk. uch. stepeni kand. tehn. nauk: 05.23.05* [Magnesium composite materials modified sulfate supplements: Abstract of Ph. D. Dissertation]. Kazan', 2005, 22 p. (in Russian).
11. Pozin M.E., Kopylov B.A. and Talmud M.M. *Novoobrazovaniya v magnijnofosfatnom kamne* [Newgrowths in magnesium phosphat rock]. *Zhilishhno-kommunal'noe hozjajstvo* [Housing and utilities infrastructure]. 1965, no. 6, pp. 97-103. (in Russian).
12. Poling L. *Obshhaja himija* [General chemistry]. Moskva: Mir, 1974, 345 p. (in Russian).
13. Ratinov V.B. and Rozenberg T.I. *Dobavki v beton* [Admixture to the concrete]. 2<sup>th</sup> edition. Moskva: Strojizdat, 1989, 188 p. (in Russian).
14. Sychev M.M. *Problemy razvitija issledovanij po gidratacii i tverdeniju* [Problems of research development by hydration and hardening of cement]. *Cement* [Cement]. 1989, no. 1, p. 26. (in Russian).
15. Shheljagin V.V. *Magnezial'nyj cement. Syr'e, tehnologija poluchenija i svojstva* [Magnesia cement. Raw materials, technology of production and properties]. Moskva: Gostrojizdat, 1933, 107 p. (in Russian).
16. Shul'ce V., Tishe V. and Jettel' V. *Rastvory i betony na ne cementnyh vjzhashhnyh* [Mortars and concretes on the not cement binding]. Moskva: Strojizdat, 1990, p. 226. (in Russian).

*Рецензент: д-р т. н., проф. Н. В. Шпирько.*

Надійшла до редколегії: 01.10.2015 р. Прийнята до друку: 12.10.2015 р.

УДК 625.002.5

## ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

СОКОЛОВ И. А., *д. т. н., проф.*

Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-42-51, e-mail: pgs@mail.pgasa.dp.ua., ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

**Аннотация. Постановка проблемы.** Возведение зданий и сооружений представляет собой сложный технологический процесс, одной из составляющих которого являются производство земляных работ. В структуре стоимости возводимых земляных работ, в зависимости от видов зданий и сооружений, составляют от трех до шестидесяти процентов. В настоящее время земляные работы на 98% механизированы. Машины для производства земляных работ, являются одним из основных видов машин, с помощью которых осуществляется комплексная механизация строительстве. Оснащение строительства высокоэффективными машинами, ускоренная замена устаревшей техники новой, высокопродуктивной – одно из основных направлений повышения эффективности земляных работ в строительстве. Интенсификация земляных работ главным образом обеспечивается на основе совершенствования организационно-технологических мер обеспечивающих эффективное использование парка землеройной техники. Сложившаяся структура парка машин, каждая из которых способны выполнять только одну операцию производственного цикла, приводит к тому, что для выполнения всей совокупности работ по созданию земляного сооружения необходимо формирование комплекта машин способных их реализовать. Альтернативой комплекта машин является использование землеройной техники многоцелевого назначения оснащенной 5-10 видами сменного рабочего оборудования с 20-40 рабочими органами, что обеспечивает выполнение всех видов земляных работ единичной машиной. **Цель статьи.** Разработать механизм технико-экономической оценки эффективности работы комплекта специализированных землеройных машин в сравнении с землеройными машинами многоцелевого назначения позволяющий, при заданных параметрах производства, установить границы их эффективного применения. Определить эффективность работы каждой рассматриваемой единицы землеройной техники, и в дальнейшем, сформировать рациональный комплект машин, способный в установленные сроки выполнить заданный объем работ с минимальными затратами. **Выводы.** Системный подход к вопросу проектирования полного технологического процесса производства земляных работ позволил установить взаимосвязь между технологическими и технико-экономическими показателями характеризующими землеройные машины и объемом выполняемых ими работ. Полученные зависимости объема земляных работ и характеристик землеройной техники представили возможность устанавливать границы эффективности использования машин многоцелевого назначения.

**Ключевые слова:** землеройные машины, производство земляных работ, комплект машин, многоцелевые строительные машины, приведенные затраты

## ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОЦІЛЬОВИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ

СОКОЛОВ І. А., *д. т. н., проф.*

Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-42-51, e-mail: pgs@mail.pgasa.dp.ua., ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

**Анотація. Постановка проблеми.** Зведення будівель і споруд являє собою складний технологічний процес, однією із складових якого є виробництво земляних робіт. У структурі вартості зводяться земляних робіт, залежно від видів будівель і споруд, складають від трьох до шістдесят відсотків. В даний час земляні роботи на 98% механізовані. Машины для виробництва земляних робіт, є одним з основних видів машин, за допомогою яких здійснюється комплексна механізація будівництві. Оснащення будівництва високоефективними машинами, прискорена заміна застарілої техніки нової, високопродуктивної - один з основних напрямків підвищення ефективності земляних робіт у будівництві. Інтенсифікація земляних робіт головним чином забезпечується на основі вдосконалення організаційно-технологічних заходів забезпечують ефективно використання парку землерійної техніки. Сформована структура парку машин, кожна з яких здатні виконувати тільки одну операцію виробничого циклу, призводить до того, що для виконання всієї сукупності робіт зі створення земляної споруди необхідно формування комплекту машин здатних їх реалізувати. Альтернативою комплекту машин є використання землерійної техніки багатоцільового призначення оснащеної 5-10 видами змінного робочого обладнання з 20-40 робочими органами, що забезпечує виконання всіх видів земляних робіт одиничною машиною. **Мета статті.** Розробити механізм техніко-економічної оцінки ефективності роботи комплекту спеціалізованих землерійних машин в порівнянні з землерійними машинами багатоцільового призначення дозволяє, при заданих параметрах виробництва, встановити межі їх ефективного застосування. Визначити ефективність роботи кожної розглянутої

одиниці землерийної техніки, і надалі, сформувати раціональний комплект машин, здатний у встановлені терміни виконати заданий обсяг робіт з мінімальними витратами. **Висновки.** Системний підхід до питання проектування повного технологічного процесу виробництва земляних робіт дозволив встановити взаємозв'язок між технологічними і техніко-економічними показателями характеризують землерийні машини і обсягом виконуваних ними робіт. Отримані залежності обсягу земляних робіт і характеристик землерийної техніки представили можливість встановлювати межі ефективності використання машин багатопільового призначення.

**Ключові слова:** землерийні машини, виконання земляних робіт, комплект машин, багатопільові будівельні машини, наведені витрати

## SUBSTANTIATION OF EFFICIENCY OF THE MULTI-PURPOSE CONSTRUCTION MACHINERY IN EARTHWORKS

SOKOLOV I. A., *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

Department of technology and building production, State Higher Education Establishment "Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 46-42-51, e-mail: pgs@mail.pgasa.dp.ua., ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

**Abstract. Formulation of the problem.** Construction of buildings and structures is a complex process, one of the components of which are the processing of digging. The cost structure constructed earthworks, depending on the types of buildings and structures, ranging from three to sixty percent. Currently, excavation work on 98% mechanized. Machines for the production of excavation, are one of the main vehicles by which the comprehensive mechanization of construction. Equipment construction vehicle with high, fast replacement of obsolete equipment with new, highly productive - one of the main ways of increasing the efficiency of excavation in construction. Intensification excavation mainly ensured by improving the organizational and technological measures to ensure efficient use of earthmoving equipment fleet. The current structure of the fleet, each of which can perform only one operation of the production cycle, resulting in the fact that for the implementation of the entire set of works on creation of earthworks necessary to form a set of machines capable to realize them. An alternative is to use a set of machines earth-moving equipment, multi-purpose equipped with 5-10 kinds of changeable working equipment with 20-40 working bodies, which provides all kinds of earthworks single machine. **The purpose of the article.** Develop a mechanism for technical and economic assessment of the effectiveness of the set of specialized earth-moving machines as compared to earth-moving machines, multi-purpose allows, under specified production parameters, to establish the limits of their effective application. To determine the efficiency of each unit of the considered earth-moving equipment, and further, to form a rational set of machines that can run on time given the amount of work at minimum cost. **Conclusions.** Systematic approach to the design of complete production process of digging it possible to establish the relationship between technology and feasibility pokazatelyami characterizing zemlerony machine and the amount of work they do. The resulting dependence of the volume of excavation and earthmoving equipment performance provided the opportunity to establish the boundaries of efficiency, multi-purpose machines.

**Key words:** digging, excavate, Kit cars, multi-purpose machine construction, reduced expenditures

**Постановка проблеми и ее связь с научными и практическими заданиями.** Возведение и реконструкция объектов промышленного и гражданского назначения, строительство инженерных сетей и коммуникаций, автомобильных дорог и др. – вот неполный перечень зданий и сооружений, неотъемлемой частью строительства которых является производство земляных работ. Виды, форма и размеры земляных сооружений определяются их назначением, зависят от рельефа земляной поверхности, а также от физико-механических свойств грунтов. К ним относятся спланированные площадки, котлованы, траншеи, дамбы, каналы, дорожные выемки, насыпи и т.д. Машин для производства земляных работ разделяют на землеройные, землеройно-транспортные, машины для подготовительных и вспомогательных работ, уплотнения и разрыхления грунтов. Основными представителями видов этих

машин являются одноковшовые экскаваторы, бульдозеры, скреперы, автогрейдеры, корчеватели, рыхлители, катки, трамбовки, виброуплотнители [3, 5].

Каждый из видов машин имеет ряд разновидностей, которые применяются в зависимости от конструкции земляных сооружений и имеют свои технические характеристики. Они отличаются ходовым оборудованием и устройством рабочих органов. В подавляющем большинстве землеройные машины способны выполнять только одну специфичную операцию и только отдельные из них – две. Сложившаяся структура парка землеройных машин способных выполнять только одну операцию производственного цикла, приводит к тому, что для выполнения всей совокупности работ по созданию земляного сооружения необходимо формирование комплекта машин способных их реализовать. Использование для производства работ ком-



плекта машин приводит к значительному увеличению единовременных затрат по их доставке на площадку и текущее обслуживание. Кроме этого применение комплекта машин в стесненных условиях городской застройки, а также при реконструкции зданий и сооружений, приводит к резкому снижению производительности каждой единицы техники в комплекте и значительно увеличивает продолжительность производственного цикла в связи с невозможностью совмещения производимых операций. Перечисленные проблемы определили тенденцию расширения области применения землеройной техники, способной за счет применения различных видов сменного рабочего оборудования выполнять несколько видов работ [2, 4, 6,]. Некоторый опыт создания многоцелевого оборудования накоплен в нашей стране, однако основными лидерами в создании и практическом использовании этого вида строительной техники являются зарубежные фирмы Poclain (Франция), Caterpillar, Esco (США), Fiat (Италия), Demag, Krupp и Leibherr (ФРГ). Эти машины оснащены 5-10 видами сменного рабочего оборудования с 20-40 сменными рабочими органами, что на практике обеспечивает выполнение всех видов земляных работ и технологических операций единичной строительной машины многоцелевого назначения. Рыночная стоимость этих машин многократно превышает стоимость строительной техники, способной выполнять 1-2 операции, что предопределяет установление границ их эффективного использования.

**Цель статьи.** Предложить методическую схему установления границ эффективного использования многоцелевых строительных машин при производстве земляных работ.

**Изложение основного материала.** Система показателей, взаимосвязанная с целевым назначением машин и характером выполняемых технологических процессов, определяется на основе анализа интегрального технико-экономического показателя, соизмеряющего производственные затраты с полученным экономическим эффектом от применения соответствующей техники [1, 3]. В качестве такого интегрального показателя приняты приведенные затраты:

$$S = C + E_n \cdot K, \text{ грн./год} \quad (1)$$

где:  $C$  – себестоимость произведенной продукции за год, грн./год;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности (для строительных машин  $E_n=0,15$ );

$K$  – рыночная стоимость единицы строительной техники, грн.

Величина приведенных затрат на выполнение заданного объема работ определяется продолжительностью производственного цикла и зависит от эксплуатационной производительности строительной машины и количества смен работы в сутки:

$$t = \frac{V}{\Pi \cdot c}, \text{ час} \quad (2)$$

где  $V$  – объем выполняемых работ,  $\text{м}^3$ ;

$\Pi$  – эксплуатационная производительность,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$c$  – количество смен в сутки.

Землеройные машины с многоцелевыми рабочими органами выполняют комплекс технологических операций разного назначения необходимых и достаточных для получения требуемой продукции. Таким образом, они работают в условиях изменяющейся производительности на каждом из видов работ. Для этих машин продолжительность технологического цикла рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{цм}} = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{\Pi_i C_i}, \text{ час} \quad (3)$$

где:  $V_i$  – объем работ выполняемый  $i$ -м рабочим органом,  $\text{м}^3$ ;

$\Pi_i$  – производительность  $i$ -го рабочего органа на каждом виде работ и при каждом условии эксплуатации (типы грунтов, строительных материалов, влажность грунта и т.п.),  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$n$  – количество видов работ, выполняемых сменными рабочими органами;

$C_i$  – количество смен на каждом виде работ.

Продолжительность работы машины на рабочей площадке составит:

$$T = t_{\text{цм}} + t_0 + t_n \quad (4)$$

где:  $t_0$  – продолжительность технического обслуживания машины, час;

$t_n$  – продолжительность перенастроек при смене рабочих органов, час.

Таким образом, приведенные затраты на выполнение общего объема земляных работ многоцелевой машиной составят:

$$S_m = \sum_{i=1}^n C_{mi} + \frac{0,15}{F_m} \left( \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{\Pi_i C_i} + \sum_{i=1}^n t_{ni} + t_o \right) \times \\ \times K_m + D_m + 3_{mo} + \sum_{i=1}^n 3_{mi} t_{ni} \quad (5)$$

где:  $C_{mi}$  – себестоимость  $i$ -го вида земляных работ, грн;

$t_{ni}$  – продолжительность переоснастки при смене  $i$ -го рабочего органа, час;

$t_o$  – продолжительность регламентного технического обслуживания, час;

$F_m$  – годовой фонд времени работы машины, час;

$n$  – количество видов работ, которые равно количеству замен рабочих органов;

$D_m$  – затраты по доставке машины на площадку, грн;

$3_{mo}$  – затраты на регламентное техническое обслуживание, грн;

$3_{mi}$  – затраты на переоснастку  $i$ -го рабочего органа.

Альтернативным вариантом выполнения земляных работ в равноценных и сопоставимых условиях является его производство комплектом узкопрофильных землеройных машин, способных осуществлять один из видов работ.

Приведенные затраты на выполнение заданного объема работ составят:

$$S_k = \sum_{j=1}^n C_j + \sum_{j=1}^n D_j + 0,15 \sum_{j=1}^n \left( \frac{K_j \cdot V_j}{\Pi_j \cdot F_j \cdot C_j} + t_{oj} \right) \text{ грн.} \quad (6)$$

где:  $C_j$  – себестоимость земляных работ выполняемых  $j$ -ой машиной, грн;

$n$  – количество видов работ;

$K_j$  – рыночная стоимость  $j$ -ой единицы строительной техники, грн;

$V_j$  – объем земляных работ выполняемых  $j$ -ой машины;

$\Pi_j$  – производительность  $j$ -ой машины;  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$F_j$  – годовой фонд времени работы  $j$ -ой машины; час;

$D_j$  – затраты по доставке  $j$ -ой машины на строительную площадку, грн;

$t_{oj}$  – продолжительность регламентных работ по техническому обслуживанию  $j$ -ой единицы техники.

С целью проведения сравнительной оценки эффективности использования машин при производстве земляных работ устанавливаются значения удельных приведенных затрат,

т.е. затрат, отнесенных на  $1 \text{ м}^3$  объема выполненных работ.

Удельные приведенные затраты при выполнении заданного объема работ составят:

– для многоцелевых машин:

$$S_{my} = \frac{S_m}{\sum_{i=1}^n V_i} \text{ грн./м}^3 \quad (7)$$

– для комплекта машин:

$$S_{ky} = \frac{S_k}{\sum_{i=1}^n V_i} \text{ грн./м}^3 \quad (8)$$

Основой для разработки методики сравнительные оценки эффективности применения землеройных машин различного назначения послужило графическое представление полного процесса производства работ в виде морфологической модели вариантов их реализации. Характер полученных разбиений полного процесса на элементарные, их топология, позволили описать полный процесс в виде каскада экспотенциального типа, который в свою очередь представляет собой не что иное, как граф построения рационального варианта полного технологического процесса. Оценка экономической эффективности процесса производится путем сопоставления по рассматриваемым вариантам показателей, положенных в основу выбора рационального варианта.

Исходной информацией для решения данной задачи являются показатели, характеризующие объемно-планировочные и конструктивные особенности возводимого земляного сооружения, геологические условия строительной площадки, а также существующий или наличный парк землеройных машин. Дополнительно необходима постановка условий, определяющих продолжительность ведения работ (директивные или расчетные), что в свою очередь обуславливает количество рабочих смен в сутки и определяет необходимость разбиения выполняемых объемов работ на захватки.

Для обоснования эффективности использования комплектов узкоспециализированных землеройных машин и сравнительной оценки с эффективностью применения многоцелевых машин в качестве основного показателя, обуславливающего тот или иной способ (метод) производства, принят объем работ, выполняемых каждой единицей техники.

На первом этапе для решения поставленной цели решалась задача формирования наиболее эффективного комплекта узкоспециализированных машин, способных выполнить заданный объем работ в установленные сроки и обеспечивающий минимальные затраты производства. На втором этапе выполнялась сравнительная оценка и выбор эффективной многоцелевой машины из числа находящихся в наличии.

Приведенные затраты на единицу продукции для каждого из рассматриваемых вариантов, определенные для многоцелевых машин по формуле 5, а для комплекта машин по формуле 6, могут быть представлены выражением:

$$S_m = a_m + \frac{e_m}{N} \quad (9)$$

где:  $a_m$  – затраты, независимые от объема земляных работ, грн;

$e_m$  – часть затрат, зависящих от объема производства, грн;

$m$  – рассматриваемый вариант;

$N$  – объем земляных работ,  $m^3$ .

Для нахождения границ рациональности применения варианта из числа  $m$ , необходимо сходиться из предположения, что объем земляных работ может изменяться от нуля до бесконечности. Границы рассматриваемых вариантов будут находиться в пределах:

$$S_{mmax} = f(N) = a_m + e_m \quad (10)$$

$$S_{mmax} \lim_{N \rightarrow +\infty} f(N) = \lim_{N \rightarrow +\infty} f(a_m + \frac{e_m}{N}) = a_m \quad (11)$$

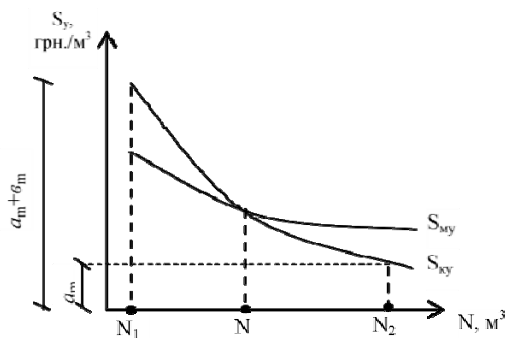


Рис. 1 Графическое определение границ эффективности применения / Graphic delimitation of the efficiency of

Графическое изображение данной задачи представлено на рис. 1. Областями перехода зон эффективности рассматриваемых вариантов является точка пересечения кривых.

Рассмотрение графического изображения зависимости удельных приведенных затрат

для комплекта землеройных машин ( $S_{ky}$ ) и многоцелевой машины ( $S_{my}$ ) позволяет сделать вывод о том, что при заданном объеме земляных работ ( $N$ ), находящемся в интервале  $N_1 - N$ , эффективно использовать многоцелевую землеройную машину, а при  $V > N$  – комплект машин.

При проектировании производства земляных работ, составной частью которого являются технологические карты, принимается окончательное решение об эффективности использования многоцелевых машин или комплекта машин, способных в установленные сроки выполнить заданный объем работы. В технологической карте приводятся способы, последовательность и графики выполнения процесса, а также производится разбивка общего объема работ на участки и захватки, и определяются пути движения машин и транспорта. Работы по устройству земляных сооружений, осуществляемые комплектом машин, выполняют поточным методом. Число захваток должно соответствовать количеству одновременно выполняемых процессов. При одновременном выполнении ряда процессов минимальное число захваток увеличивается.

Размеры захваток определяют исходя из требуемого фронта работ для ведущей машины в комплекте. Для полносборных сооружений определяется площадь захваток:

$$F_3 = \frac{t_{ц} \sum_{j=1}^n \Pi_j}{h} \quad (12)$$

где:  $t_{ц}$  – продолжительность работы машины на одной захватке (модуль цикличности) принимается равной одной смене;

$t_{ц} \sum_{j=1}^n \Pi_j$  – суммарная производительность комплекта машин ( $n$ )  $m^3$ /смену;

$h$  – толщина земляного слоя, м.

При устройстве линейных земляных сооружений устанавливается длина захватки:

$$L_3 = \frac{t_{ц} \sum_{j=1}^n \Pi_j}{V}, \text{ м}$$

где:  $L_3$  – длина земляного сооружения, м;

$V$  – объем земляного сооружения,  $m^3$ .

В зависимости от размеров захватки, принятой для ведущих машин, определяется объем работ для остальных машин и формируются составы звеньев машин для выполнения заданного объема земляных работ. При производстве земляных работ предусматривают

максимальное совмещение процессов, а продолжительность цикла регулируется количеством машин в комплекте.

Предложенный подход позволяет установить оптимальную с точки зрения затрат продолжительность цикла производства земляных работ и сформировать рациональный комплект специализированных землеройных машин.

Предложенный метод комплексной оценки вариантов применения машин при производстве работ позволяет учитывать возможности организационно-технической базы землеройных машин и степень их соответствия объемно-планировочным и конструктивным решениям земляных сооружений, принять к внедрению технологический процесс, обеспечивающий при заданном объеме работ максимальную эффективность их применения.

**Вывод.** Предложенный метод обоснования эффективности использования многоцелевых землеройных машин позволил системно подойти к вопросу проектирования полного технологического процесса производства работ на основе установления взаимосвязи между техническими, технологическими и технико-экономическими показателями, характеризующими землеройные машины, и объемом выполняемых ими работ. Установленные зависимости объема работ и характеристик землеройной техники позволили сделать вывод о том, что использование машин многоцелевого назначения эффективно при небольших объемах работ, реконструкции объектов и вообще при работе в стесненных условиях. Границы эффективности их применения могут быть определены только путем сравнения вариантов с комплектами узкоспециализированных землеройных машин.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гличев А. В. Экономическая эффективность технических систем / А. В. Гличев. – Москва : Экономика, 1971. – 270 с.
2. Гокун В. В. Технологические основы конструирования машин. Сущность, направление и методы осуществления / В. В. Гокун. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машгиз, 1963. – 736 с.
3. Гусаков А. А. Организационно-технологическая надежность строительного производства (в условиях автоматизированных систем проектирования) / А. А. Гусаков. – Москва : Стройиздат, 1974. – 254 с.
4. Хмара Л. А. Роботизация строительных процессов / Л. А. Хмара, И. А. Стефанов, Е. П. Уваров. – Луганск : Глобус, 2002. – 408 с.
5. Машини для земляних робіт / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, М. П. Скоблюк, В. Г. Нікітін, М. І. Дерев'янчук, В. М. Супонев ; за заг. ред. Л. А. Хмари, С. В. Кравця. – Рівне ; Дніпропетровськ ; Харків, 2014. – 547 с.
6. Хмара Л. А. Научные основы формирования многокомпонентных рабочих органов землеройных / Л. А. Хмара // Интенсификация рабочих процессов строительных машин. Сборник научных трудов Приднестровской государственной академии строительства и архитектуры. – Днепропетровск, 1998. – Вып. 4 : Машини для земляных работ. – С. 14-21.

#### REFERENCES

1. Glichev A.V. *Jekonomicheskaja jeffektivnost' tehniceskikh sistem* [Economic efficiency of technical systems]. Moskva: Jekonomika, 1971, 270 p. (in Russian).
2. Gokun V.V. *Tehnologicheskie osnovy konstruirovaniya mashin. Sushhnost', napravlenie i metody osushhestvlenija* [Technological basics of machine design. Matter, direction and methods of implementation]. 3<sup>rd</sup> edition. Moskva: Mashgiz, 1963, 736 p. (in Russian).
3. Gusakov A.A. *Organizacionno-tehnologicheskaja nadezhnost' stroitel'nogo proizvodstva (v uslovijah avtomatizirovannyh sistem proektirovaniya)* [Organizational-technological reliability of building production (in terms of automated systems of design)]. Moskva: Strojizdat, 1974, 254 p. (in Russian).
4. Hmara L.A., Stefanov I.A. and Uvarov E.P. *Robotizacija stroitel'nyh processov* [Robotic automation of building processes]. Lugansk: Globus, 2002, 408 p. (in Russian).
5. Hmara L.A., Kravec' S.V., Skobljuk M.P., Nikitin V.G., Derev'janchuk M.I. and Suponev V.M. *Mashiny dlja zemljanih robit* [Machinery for earthworks]. Rivne, Dnipropetrovsk, Harkiv, 2014, 547 p. (in Ukrainian)
6. Hmara L.A. *Nauchnye osnovy formirovaniya mnogokomponentnyh rabochih organov zemlerojnyh* [Scientific bases of formation of multicomponent earthmoving working attachments]. *Intensifikacija rabochih processov stroitel'nyh mashin. Sbornik nauchnyh trudov Pridneprovskoj gosudarstvennoj akademii stroitel'stva i arhitektury* [Intensification of work processes of construction machinery. Collection of scientific papers of Pridneprovsk'ska state academy of civil engineering and architecture]. Dnepropetrovsk, 1998, no. 4, pp. 14-21. (in Russian).

Рецензент: д.т.н., проф. А. І. Білоконь

Надійшла до редколегії: 04.11.2015 р. Прийнята до друку: 06.10.2015 р.

УДК 69.002.5

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

ШИБКО О. Н., к. т. н., доц.

Кафедра прикладной математики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 496000, Днепропетровск, Украина, тел. +38(056)756-34-10, e-mail: ksusha2708@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5894-0642

**Аннотация. Постановка проблемы.** Современные информационные технологии развиваются в условиях глобализации экономики, становления общего информационного пространства и, как следствие, изменения отношения к информации участников рыночных отношений. Новые условия приводят к росту числа сторон, которые участвуют в создании и использовании информации, к увеличению объемов информации и частоты её использования, что делает актуальной задачу оперативного управления деятельностью персонала различных организаций. Информационное обеспечение включает в себя нормативно-справочную информацию; необходимые классификаторы технико-экономической информации; массивы данных, необходимых для решения задач; унифицированные документы. Основное назначение информационного обеспечения – своевременно выдавать системе управления, в частности, лицам, принимающим решения, достоверную информацию, необходимую и достаточную для принятия оптимальных или близких к ним управленческих решений. **Целью статьи** является изучение и усовершенствование методов проектирования информационного обеспечения (ИО) реализованных решений по объектам, размещению и формам организации информации, циркулирующей в автоматизированной системе управления при ее функционировании в виде объектов определенной структуры. **Вывод.** Таким образом, выбор метода проектирования информационного обеспечения обуславливается необходимостью разработки математического аппарата, обеспечивающего формальные средства работы с информационными ресурсами. Математический аппарат и методы должны обеспечивать решение сформулированных задач проектирования информационного обеспечения.

**Ключевые слова:** *граф, проектирование информационного обеспечения, информационные системы, информационный поток*

**ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

ШИБКО О. М., к. т. н., доц.

Кафедра прикладної математики, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 496000, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 756-34-10, e-mail: ksusha2708@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5894-0642

**Анотація. Постановка проблеми.** Сучасні інформаційні технології розвиваються в умовах глобалізації економіки, становлення загального інформаційного простору і, як наслідок, зміни ставлення до інформації учасників ринкових відносин. Нові умови призводять до зростання кількості сторін, які беруть участь у створенні та використанні інформації, до збільшення обсягів інформації та частоти її використання, що робить актуальним завдання оперативного управління діяльністю персоналу різних організацій. Інформаційне забезпечення включає в себе нормативно-довідкову інформацію; необхідні класифікатори техніко-економічної інформації; масиви даних, необхідних для вирішення завдань; уніфіковані документи. Основне призначення інформаційного забезпечення - вчасно видавати системі управління, зокрема, особам, які приймають рішення, достовірну інформацію, необхідну і достатню для прийняття оптимальних або близьких до них управлінських рішень. **Метою статті є** вивчення та вдосконалення методів проектування інформаційного забезпечення (ІЗ) реалізованих рішень по об'єктах, розміщенню і формам організації інформації, що циркулює в автоматизованій системі управління при її функціонуванні у вигляді об'єктів певної структури. **Висновок.** Таким чином, вибір методу проектування інформаційного забезпечення обумовлюється необхідністю розробки математичного апарату, що забезпечує формальні засоби роботи з інформаційними ресурсами. Математичний апарат і методи повинні забезпечувати вирішення сформульованих завдань проектування інформаційного забезпечення.

**Ключові слова:** *граф, проектування інформаційного забезпечення, інформаційні системи, інформаційний потік*

**DESIGN OF INFORMATION SUPPORT**SHIBKO O. N., *Cand. Sc. (Tech), Ass. Prof.*

Department of applied mathematics, State Higher Education Establishment «Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 496000, Ukraine Tel. +38 (056) 756-34-10, e-mail: ksusha2708@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5894-0642

**Summary. Problem statement.** Modern information technology is developing in a globalized economy, the formation of a common information space and as a result, changes relation to the information of participants of market relations. New conditions lead to an increase in the number of parties involved in the creation and use of information, to the increase of the volume of information and the frequency of its use, making the actual task of the operational management of the activity of the staff of the various organizations. Information support includes normative and reference data; the necessary classificatory of technical and economic information; arrays of data needed to solve problems; standardized documents. The main purpose of providing information is timely to give management system, accurate information in particular,

decision-makers, necessary and sufficient for making optimal or near-management decisions. **Purpose of the article:** to study and to improve methods of the design of information support (IS) and of implemented solutions for the objects, the arrangement and forms of organization of the information circulating in the automated control system when it is functioning as an object of a certain structure. **Conclusion.** Thus, the choice of a method of designing information support determines by the necessity of the development of the mathematical apparatus, providing the formal means of work with information resources. The mathematical apparatus and methods should provide the formulated tasks of designing information support.

**Key words:** *graph, design of information support, information systems, information flow*

**Постановка проблеми.** Современные информационные технологии развиваются в условиях глобализации экономики, становления общего информационного пространства и, как следствие, изменения отношения к информации участников рыночных отношений [1]. Новые условия приводят к росту числа сторон, которые участвуют в создании и использовании информации, к увеличению объемов информации и частоты её использования, что делает актуальной задачу оперативного управления деятельностью персонала различных организаций.

**Целью статьи** является изучение и совершенствование методов проектирования информационного обеспечения (ИО) реализованных решений по объектам, размещению и формам организации информации, циркулирующей в автоматизированной системе управления при ее функционировании в виде объектов определенной структуры.

**Изложение основного материала.** Информационное обеспечение АСУ – совокупность реализованных решений по объектам, размещению и формам организации информации, циркулирующей в автоматизированной системе управления при ее функционировании. Оно включает в себя нормативно-справочную информацию; необходимые классификаторы технико-экономической информации; массивы данных, необходимых для решения задач; унифицированные документы, используемые в АСУ (ГОСТ 24.003-84). Основное назначение информационного обеспечения – своевременно выдавать системе управления, в частности, лицам, принимающим решения, достоверную информацию, необходимую и достаточную для принятия оптимальных или близких к ним управленческих решений.

Система автоматизированного управления имеет дело не с самим объектом, а с информацией о нем. Поэтому основной функцией информационного обеспечения является создание и ведение динамической информа-

ционной модели объекта, которая в каждый момент времени содержит данные, соответствующие фактическим значениям параметров с минимально допустимой задержкой во времени. Эти данные должны выдаваться любому пользователю, которому они необходимы для принятия решений. Соответствие данных фактическим значениям параметров с заданной точностью является важной характеристикой информационного обеспечения. Для его реализации применяют специальные методы контроля и обеспечения достоверности.

Нормативно-справочная информация заимствуется из нормативных документов и справочников. Ее содержание определяется теми постоянными или условно-постоянными данными, т.е. не изменяющимися, по крайней мере, в течение трех-четырех циклов работы, которые являются исходными для решения задач. Под данными в общем случае понимают любые сведения, являющиеся объектом обработки в АСУ. Вводимые в систему и хранящиеся в ней данные представляют собой отдельные значения параметров объектов или процессов в виде слов, буквенных обозначений, числовых величин, таблиц, графиков или в иной форме. Некоторую совокупность или набор данных, используемых для определенной цели, называют информацией.

Классификаторы технико-экономической информации служат для унификации применяемых в АСУ наименований и обозначений с целью их однозначного определения. Каждая позиция классификатора содержит кроме словесного наименования цифровой код, структура которого позволяет более четко определить иерархические уровни и группировки классифицируемой информации.

Массивы данных содержат в упорядоченном и систематизированном виде все необходимые для функционирования АСУ данные. Это позволяет быстро находить или вводить в систему нужные данные, осуществлять перекрестные ссылки и т.п. Совокупность упорядоченной информации, используемой при

функционировании АСУ, называют ее информационной базой [3].

Унифицированные документы представляют собой набор форм: организационно-распределительной информации в соответствии со стандартами; установленной отчетности, направляемой в вышестоящие организации; подготовленных разработчиками для внутрисистемного пользования.

При проектировании информационного обеспечения существенное значение имеет время доступа – интервал времени от момента поступления в систему запроса до момента представления соответствующей информации пользователю. Помимо общего стремления к сокращению непроизводительной затраты времени на ожидание ответа в отдельных случаях этот параметр приобретает особое значение. Так, если после некоторого критического срока уже невозможно успеть принять и реализовать решение, ответ теряет смысл. Обычно существует некоторый предел, до которого время доступа можно снижать без каких-либо осложнений и специально принимаемых мер. Дальнейшее уменьшение времени доступа если и возможно, то требует дополнительных ресурсов и затрат. Здесь надо искать компромисс между затратами на снижение времени доступа и потерями от того, если это не будет сделано, т.е. необходима постановка и решение оптимизационной задачи.

Для систем реального времени с удаленными терминалами используется несколько иная характеристика – время ответа, под которым понимают интервал времени от момента окончания формирования запроса на терминале до момента индикации на нем первого символа ответа. Это время складывается из времени передачи по каналу запроса и ответа, времени доступа к информационным массивам и процессорного времени, затрачиваемого на ответ, с учетом обработки запросов других пользователей.

В режиме коллективного пользования большое значение имеют психологические особенности человека, участвующего в диалоге. По данным наблюдений психологов, в разговоре двух лиц время ожидания ответа составляет не более 2 секунд. При большей задерж-

ке ответа второй участник замечает это и начинает тяготиться беседой. При диалоге человека с ЭВМ задержка ответа ЭВМ свыше 15 с исключает диалоговое взаимодействие, пользователь недоволен ожиданием и делает попытки переключиться на другую деятельность; задержка от 4 до 15 с психологически затрудняет принятие решений в режиме диалога; от 2 до 4 с – обычно приемлема, но может оказаться чрезмерной в ситуациях, требующих высокой концентрации внимания пользователя; от долей секунды до 2 с – наиболее эффективное время для пользователя, особенно если ему надо помнить информацию, содержащуюся в предыдущих ответах; ответ за доли секунды, мгновенный с точки зрения пользователя, в некоторых ситуациях оказывает подавляющее действие и должен быть искусственно задержан.

Большое значение имеет способ хранения данных. Объем хранимых данных в современных системах чрезвычайно велик, он составляет многие миллионы алфавитно-цифровых знаков. Система динамична, данные непрерывно обновляются, а используются относительно небольшие, но самые различные части хранимых данных, причем в разных комбинациях. Управлять всем этим потоком достаточно сложно. Благодаря введению формализации обновление данных, перевод с одного уровня памяти на другой и физическая перезапись на разные носители могут быть запрограммированы и эти функции возложены на ЭВМ. В наибольшей степени эта тенденция нашла отражение в базах и банках данных, где пользователь полностью освобожден от заботы о физическом размещении данных в памяти ЭВМ.

Форма представления данных должна обеспечить наибольшее удобство их последующего использования. В пакетном режиме работы ЭВМ наиболее распространенной формой вывода данных были распечатки, содержащие алфавитно-цифровую информацию в виде отдельных строк или таблиц, реже – графический вывод в виде графиков или чертежей. Основным недостатком такого способа был вывод значительно большего объема данных, с тем, чтобы пользователь сам выбрал из них нужные в каждом конкретном

случае. Неудобство пользования объемными распечатками приводит во многих случаях к тому, что их вообще не используют. Ввод данных в пакетном режиме, обычно требующий перфорации большого объема данных и получения распечаток, занимал длительное время, что также не способствовало успеху системы.

Современные возможности ввода и вывода информации из ЭВМ, работающей в режиме коллективного пользования, позволяют строить системы информационного обеспечения таким образом, чтобы в наибольшей степени индивидуализировать общение пользователя с ЭВМ. Должен быть обеспечен ввод с клавиатуры запроса в таком виде, который учитывает степень подготовленности пользователя и в максимальной степени конкретизирует запрос. Ответ, лаконичный и конкретный, выводится в этом режиме на дисплей немедленно по получении запроса. Вместе с тем диалоговый режим коллективного пользования требует от проектировщика учета многих особенностей. Необходимо регламентировать доступ участников системы к хранимым данным. Даже в справочном режиме не всем пользователям разрешается получение любых данных о функционировании АСУ. Тем более ограничен доступ к введению изменений в массивы.

Наличие неподготовленных пользователей требует особого внимания при выборе метода построения диалога, учета психологии поведения человека при общении с ЭВМ. В хорошо разработанной системе должна быть налажена регистрация действий пользователей в виде архивных протоколов, позволяющих анализировать работу системы с пользователями.

Большое значение имеют вопросы надежности и, в частности, способность системы к самовосстановлению после случайных выходов из строя. Должна быть предусмотрена возможность сохранения важнейших функций системы при частичных выходах из строя аппаратуры, при перегрузках и других нарушениях режима. Необработанные задания также требуют регламентации – обработка некоторых теряет смысл, другие, наоборот, должны быть обработаны с наивысшим при-

оритетом сразу после восстановления системы. Восстановление системы, т.е. переход к выполнению функций в полном объеме, не должно требовать специальных действий пользователей - сотрудников АСУ.

Важный этап проектирования информационного обеспечения – анализ информационных потоков, проводимый на стадии предпроектного обследования, его результаты служат основой разработки модели системы управления.

Различают макро - и микроуровень исследования потоков информации. Анализ информационных потоков на макроуровне позволяет понять общую схему работы объектов управления, провести совершенствование документооборота. Анализ на микроуровне обеспечивает выявление элементов информационного отображения объекта управления, взаимосвязей между ними, структуры и динамики информационных потоков.

Начальным этапом анализа информационных потоков является составление программы исследования. Намечается примерный перечень вопросов, на которые необходимо дать ответ в процессе изучения форм документации и недокументированных сообщений. В этот перечень входят: назначение документа; количество его экземпляров; наименования обязательных реквизитов и показателей, а также указание должностных лиц, которые их заполняют; значимость показателей документов; частота формирования документов и разработки показателей.

Выделяют два метода анализа входящих и исходящих документов: инвентаризации и типических групп. Первый метод позволяет получить полную информацию обо всех документах и, таким образом, о потоках информации в существующих системах управления. Однако этот метод очень трудоемок и поэтому применяется достаточно редко. Второй метод используется значительно чаще, поскольку предусматривает регистрацию не каждого документа, а лишь представителей однотипных групп. Метод типических групп наиболее эффективен при обследовании систематизированных массовых и повторяющихся документов [5].



Множество документов, связанных с системой управления, можно разделить на следующие группы:

1) официальные положения и инструкции, регламентирующие функции подразделений и определяющие сроки и процедуры обработки информации и принятия решений;

2) входные документы, возникающие вне системы;

3) систематически обновляемые записи в виде картотек или книг, используемые в процессе работы;

4) промежуточные документы, получаемые и (или) используемые в процессе обработки данных;

5) выходные документы.

Исходной информацией для описанных методов аналогичного назначения являются перечни входных и выходных элементов с указанием связей между ними. Получение этой информации является сложной слабо формализуемой задачей, основанной на изучении информационных потоков. Общая методика заключается в анализе этих потоков от выходов к входам. Исходя из функций системы и ее цели, определяют множество материальных выходов и для каждого из них – набор независимых параметров, полностью характеризующих данный выход по всей совокупности задач управления. Сопоставляя наборы параметров, характеризующих выходы, с перечнем информационных элементов, выделенных из множества исходных данных для решения задач, определяют, содержится ли данный параметр в обоих списках. Положительный результат является подтверждением необходимости включения данного информационного элемента в состав информационного обеспечения, а отсутствие совпадения требует более тщательного анализа.

Дополнительный анализ либо выявит ошибочный пропуск данного элемента в одном из списков, либо станет ясно, что данный параметр нет необходимости включать в состав информационного обеспечения. Накладывая результаты анализа одного параметра на другие и исключая дублирование, получают полный набор выходных информационных элементов.

Аналогичным методом получают набор входных информационных элементов. Парные взаимосвязи между информационными элементами выявляют также двумя способами для возможности перекрестной проверки – движением вдоль информационного потока, используя методику единичной нити, и по постановкам задач, рассматривая аналитические зависимости между параметрами. В обоих случаях следует иметь в виду возможность наличия промежуточных информационных элементов.

Метод с использованием графов типа "дерево" используют для описания системы потоков информации. Строится граф взаимосвязи показателей (типа "дерево") и так называемые графы расчетов, описывающие преобразование информации в процессе формирования отдельных показателей. При построении дерева взаимосвязи показателей ребра ориентируют с учетом иерархии от исходных к результирующим, что позволяет строить графы с более высокой степенью укрупнения.

Полученный комплекс графов отражает процесс движения и преобразования информации в системе и может быть использован для анализа эффективности этого процесса. Применение метода целесообразно, когда имеется результирующий (главный) показатель на каждом уровне. Обработку результатов изучения информационных потоков и анализа документооборота в ряде случаев удобно проводить с помощью матричных информационных моделей.

Для анализа различных информационных потоков с целью их увязки используют метод реквизитов. Основным элементом сообщения, которое несет определенную смысловую нагрузку, является показатель, состоящий из одного или нескольких наименований реквизитов. Значения в документах обычно группируются по названиям реквизитов, и для анализа документооборота удобно использовать только наименования реквизитов. При этом для облегчения изучения документооборота создают специальные картотеки реквизитов с использованием карт с краевой перфорацией. На картах каждому реквизиту ставится в соответствие некоторый шифр; эта

процедура составляет первый этап метода. Затем составляется таблица реквизитов промежуточной, хранимой и выходной информации. После составления таблицы в картотеку вносят дополнительные сведения о реквизитах, которые в дальнейшем используются для количественной оценки информации. Данный метод позволяет выявить идентичные реквизиты, дублирование документов, упорядочить потоки информации, рационально скомпоновать показатели, унифицировать реквизиты.

**Вывод.** Таким образом, выбор метода проектирования информационного обеспечения обуславливается необходимостью разработки математического аппарата, обеспечивающего формальные средства работы с информационными ресурсами. Математический аппарат и методы должны обеспечивать решение сформулированных задач проектирования информационного обеспечения.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Варламов Н. В. Системы автоматизированного проектирования в строительстве. В 2 ч. / Варламов Н. В. – Санкт-Петербург : ЛИСИ, 1992. – 320 с.
2. Архитектурно-строительное проектирование: Методология и автоматизация / Э. П. Григорьев, А. А. Гусаков, Ж. Зейтун, С. Порада ; под ред. А. А. Гусакова ; [предисл. Д. В. Сладкова, С. В. Карпова]. – Совмест. изд. СССР–Франция. – Москва : Стройиздат, 1986. – 237 с. : ил.
3. Нагинская В. С. Автоматизация архитектурно-строительного проектирования / Нагинская В. С. – Москва : Стройиздат, 1979. – 175 с.
4. Пеньковский Г. Ф. Основы информационных технологий и автоматизированного проектирования в строительстве / Г. Ф. Пеньковский. – Санкт-Петербург : ГАСУ, 2008 (Санкт-Петербург). – 149 с.
5. Управление инновационными проектами / под ред. В. Л. Попов. – Москва : Инфра-М, 2009. – 336 с.
6. Прохорский Г. В. Информационные технологии в архитектуре и строительстве / Г. В. Прохорский. – 2-е изд., стер. – Москва : КноРус, 2012. – 264 с.
7. Реусов В. А. Формирование и оценка качества проектных решений в строительстве / В. А. Реусов, В. И. Торкатюк, В. В. Пушкаренко. – Киев : Будивельник, 1988. – 208 с. : ил. – (Библиотека проектировщика).

### REFERENCES

1. Varlamov N.V. *Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya v stroitel'stve. V 2 ch.* [Systems of atomized design in construction. In two parts]. SPb.: LISI, 1992, 320 p. (in Russian).
2. Grigor'ev E.P., Gusakov A.A., Zeytun Zh. and Porada S. *Arkhitekturno-stroitel'noe proektirovanie: Metodologiya i avtomatizatsiya* [Architectural and construction design: Methodology and automation]. Moscow: Stroyizdat, 1986, 237 p. (in Russian).
3. Naginskaya V.S. *Avtomatizatsiya arkhitekturno-stroitel'nogo proektirovaniya* [Automation of architectural and construction design]. Moscow: Stroyizdat, 1979, 175 p. (in Russian).
4. Pen'kovskiy G.F. *Osnovy informatsionnykh tekhnologiy i avtomatizirovannogo proektirovaniya v stroitel'stve* [Basics of information technology and atomized design in construction]. Sankt-Peterburg: GASU, 2008, 149 p. (in Russian).
5. Popov V.L. *Upravlenie innovatsionnymi proektami* [Management of innovative projects]. Moscow: Infra-M, 2009, 336 p. (in Russian).
6. Prokhorskiy G.V. *Informatsionnye tekhnologii v arkhitekture i stroitel'stve* [Information technology in architecture and construction]. 2-e izd., [Second edition]. Moscow: KnoRus, 2012, 264 p. (in Russian).
7. Reusov V.A., Torkatyuk V.I. and Pushkarenko V.V. *Formirovanie i otsenka kachestva proektnykh resheniy v stroitel'stve* [Formation and evaluation of the quality of design solutions in construction]. Kiev: Budivelnik, 1988, 208 p. (in Russian).

Рецензент: д-р т. н., проф. Н. М. Ершова

Надійшла до редколегії: 18.08.2015 р. Прийнята до друку: 28.10.2015 р.

УДК624.953.014.2.004.15

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМБИНАТОРНЫХ ЗАДАЧ НА ГРАФАХ В ТЕРМИНАХ ЗАДАЧИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

СЕМЕНЕЦ С. Н.<sup>1\*</sup>, к. т. н, доц.,НАСОНОВА С. С.<sup>2\*</sup>, к. т. н, доц.

<sup>1\*</sup> Кафедра прикладной математики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(056)756-34-10, e-mail: semenets.serg@list.ru, ORCID ID: 0000-0003-0477-8795

<sup>2\*</sup> Кафедра высшей математики, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-24-64, e-mail: ms.nasonova@list.ru, ORCID ID: 0000-0002-0920-7417

**Аннотация. Постановка проблемы.** Различают три основных подхода к решению комбинаторных задач на графах. Первый предусматривает разработку соответствующих алгоритмов на основе методов теории графов. Второй и третий подходы основаны на приведении исходной задачи, сформулированной в терминах графов, к задаче оптимизации. При этом для решения полученной задачи оптимизации в рамках второго подхода разрабатываются соответствующие алгоритмы оптимизации, а в рамках третьего – используются прикладные компьютерные технологии, инструментальная среда которых адаптирована к решению задач оптимизации. Для компьютерной реализации первого и второго подходов требуется специальное программное обеспечение, разработка которого доступна далеко не каждому пользователю. Кроме того, в случае уточнения постановки той или иной типовой задачи на графах (например, путем введения дополнительных ограничений) обычно оказывается необходимой модификация известных алгоритмов ее решения и соответствующая ревизия программного обеспечения. Все это в значительной мере затрудняет на практике проведение численных экспериментов на графовых моделях. Наиболее удобным для широкого круга пользователей является третий подход к решению комбинаторных задач на графах, поскольку он не требует для своей компьютерной реализации разработки специальных алгоритмов и соответствующего программного обеспечения. Однако вопросы согласования получаемой модели оптимизации и возможностей применяемой компьютерной технологии требуют дальнейшей научной и практической проработки. В данной статье рассматривается один из возможных способов реализации третьего подхода к решению комбинаторных задач на графах, предусматривающий приведение исходной графовой модели к задаче математического программирования и последующее решение последней в инструментальной среде надстройки MS Excel «Поиск решения». **Цель статьи** – показать результативность и достаточную общность такого способа решения комбинаторных задач на графах. **Выводы.** Полученные в статье результаты показывают, что многие комбинаторные задачи, сформулированные в терминах графов, могут быть достаточно легко пересформулированы в виде задачи математического программирования. Получаемая при этом оптимизационная модель, как правило, оказывается линейной относительно неизвестных. Для численной реализации таких моделей хорошо приспособлена надстройка MS Excel «Поиск решения», что делает табличный процессор Excel эффективной компьютерной технологией решения комбинаторных задач на графах даже в случае их достаточно большой размерности.

**Ключевые слова:** граф, модель, оптимизация, комбинаторные задачи на графах, задача математического программирования.

## МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНАТОРНИХ ЗАДАЧ НА ГРАФАХ У ТЕРМІНАХ ЗАДАЧІ МАТЕМАТИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

СЕМЕНЕЦЬ С. М.<sup>1\*</sup>, к. т. н, доц.,НАСОНОВА С. С.<sup>2\*</sup>, к. т. н, доц.

<sup>1\*</sup> Кафедра прикладної математики, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 756-34-10, e-mail: semenets.serg@list.ru, ORCID ID: 0000-0003-0477-8795

<sup>2\*</sup> Кафедра вищої математики, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Гагаріна, 8, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-24-64, e-mail: ms.nasonova@list.ru, ORCID ID: 0000-0002-0920-7417

**Анотація. Постановка проблеми.** Розрізняють три основні підходи до вирішення комбінаторних задач на графах. Перший передбачає розроблення відповідних алгоритмів на основі методів теорії графів. Другий і третій підходи засновані на приведенні вихідної задачі, сформульованої в термінах графів, до задачі оптимізації. При цьому для розв'язання отриманої задачі оптимізації у рамках другого підходу розробляються відповідні алгоритми оптимізації, а у рамках третього застосовуються прикладні комп'ютерні технології, інструментальне середовище яких адаптоване до розв'язання таких задач. Для комп'ютерної реалізації першого і другого підходів потрібне спеціальне програмне забезпечення, розроблення якого доступне далеко не кожному користувачеві. Крім того, у

разі уточнення постановки тієї або іншої типової задачі на графах (наприклад, шляхом уведення додаткових обмежень) зазвичай виявляється необхідною модифікація відомих алгоритмів її розв'язання і відповідна ревізія програмного забезпечення. Усе це значною мірою утрудняє на практиці проведення числових експериментів на графових моделях. Найбільш зручним для широкого кола користувачів є третій підхід до розв'язання комбінаторних задач на графах, оскільки він не вимагає для своєї комп'ютерної реалізації розроблення спеціальних алгоритмів і відповідного програмного забезпечення. Проте питання узгодження отриманої моделі оптимізації і можливостей вживаної комп'ютерної технології вимагають подальшого наукового і практичного опрацювання. У даній статті розглядається один із можливих способів реалізації третього підходу до розв'язання комбінаторних задач на графах, що передбачає приведення вихідної графової моделі до задачі математичного програмування і подальше розв'язання останньої в інструментальному середовищі надбудови MS Excel «Пошук рішення». **Мета статті** – показати результативність і достатню спільність такого способу розв'язання комбінаторних задач на графах. **Висновки.** Отримані в статті результати показують, що багато комбінаторних задач, сформульованих у термінах графів, можуть бути досить легко переформульовані у вигляді задачі математичного програмування. Отримана при цьому оптимізаційна модель, як правило, виявляється лінійною щодо невідомих. Для числової реалізації таких моделей добре адаптована надбудова Excel «Пошук рішення», що робить табличний процесор Excel ефективною комп'ютерною технологією розв'язання комбінаторних задач на графах навіть у разі їх досить великої розмірності.

**Ключові слова:** граф, модель, оптимізація, комбінаторні задачі на графах, задача математичного програмування

## DESIGN OF COMBINATORICS TASKS ON COLUMNS IN TERMS OF TASK MATHEMATICAL PROGRAMMING

SEMENETS S. N.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech), Ass. Prof.*,

NASONOVA S. S.<sup>2\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech), assoc. Prof.*

<sup>1\*</sup> Department of the applied mathematics, State Higher Education Establishment «Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (056) 756-34-10, e-mail: semenets.serg@list.ru, ORCID ID: 0000-0003-0477-8795

<sup>2\*</sup> Department of higher mathematics, State Higher Education Establishment «Ukrainian State chemical - technological university», Gagarin str., 8, Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38(0562) 47-24-64, e-mail: ms.nasonova@list.ru, ORCID ID: 0000-0002-0920-7417

**Summary. Raising of problem.** To the decision of combinatorics tasks on columns distinguish three basic approaches. The first envisages development of corresponding algorithms on the basis of methods of theory of the graphs. Second and third approaches are based on bringing the initial task over, set forth in terms of counts, to the task of optimization. Thus for the decision of the got task of optimization within the framework of the second approach the proper algorithms of optimization are developed, and within the framework of the third – the applied computer technologies the instrumental environment of which is adapted to the decision of tasks of optimization are used. For computer realization of the first and second approaches the special software development of which is accessible to far not every user is required. In addition, in the case of clarification of raising of one or another model task on columns (for example, by introduction of additional limitations) usually modification of the known algorithms of its decision and proper revision of software appears necessary. All this makes it very difficult in practice, the implementation of numerical experiments on a graph model. The most convenient for a wide range of users is a third approach to the solution of combinatorial problems on graphs, since it does not require for its computer implementation, the development of specific algorithms and software. However, issues of harmonization and optimization of the resulting model the ability to apply computer technology require further research and practical study. In this article one of possible methods of realization of the third going is examined near the decision of combinatorics tasks on columns, envisaging bringing an initial count model over to the task of the mathematical programming and subsequent decision of the last in an instrumental environment building on of Excel "Solver". **Purpose of the article** – to show effectiveness and sufficient community of such method of decision of combinatorics tasks on columns. **Conclusion.** The results got in the article show that many combinatorics tasks set forth in terms of counts, it is undifficult reformulate as a task of the mathematical programming. The optimization model got here, as a rule, appears linear relatively unknown. For numeral realization of such models building on of MS Excel is well adjusted "Solver", that does the tabular processor of Excel effective computer technology of decision of combinatorics tasks on columns even in case of their large enough dimension.

**Keywords:** graph, model, optimization, combinatorial problems on graphs, mathematical programming problem

**Постановка проблеми.** Комбінаторними задачами на графах називаються задачі пересчета и перечисления, сформулированные в терминах графов. При этом граф вы-

ступает в роли модели исследуемого объекта, а решение конкретной задачи сводится к поиску некоторого подграфа, пути, цикла, множества вершин или ребер, обладающих тре-

буемыми свойствами. Обычно эти требования задаются в виде некоторого критерия выбора наилучшего в определенном смысле решения из множества возможных. Тем самым, комбинаторные задачи на графах по своей сути – это задачи принятия решений. В настоящее время различные графовые модели широко используются для формализации многих прикладных задач как технического, так и экономического характера [1-4], а разработка эффективных методов численной реализации таких моделей представляет теоретический и практический интерес [2; 6].

Различают три основных подхода к решению комбинаторных задач на графах. Первый предусматривает разработку соответствующих алгоритмов на основе методов теории графов [4-8]. Вторым и третьим подходами основаны на приведении исходной задачи, сформулированной в терминах графов, к задаче оптимизации [9; 11]. При этом для решения полученной задачи оптимизации в рамках второго подхода разрабатываются соответствующие алгоритмы оптимизации, а в рамках третьего – используются прикладные компьютерные технологии, инструментальная среда которых адаптирована к решению таких задач.

Для компьютерной реализации первого и второго подходов требуется специальное программное обеспечение, разработка которого доступна далеко не каждому пользователю. Кроме того, в случае уточнения постановки той или иной типовой задачи на графах (например, путем введения дополнительных ограничений) обычно оказывается необходимой модификация известных алгоритмов ее решения и соответствующая ревизия программного обеспечения. Все это в значительной мере затрудняет проведение на практике численных экспериментов на графовых моделях.

Наиболее удобным для широкого круга пользователей является третий подход к решению комбинаторных задач на графах, поскольку он не требует для своей реализации разработки специальных алгоритмов и соответствующего программного обеспечения. Однако вопросы согласования получаемой модели оптимизации и возможностей применяемой компьютерной технологии для ее ре-

ализации требуют дальнейшей научной и практической проработки.

В данной статье рассматривается один из возможных способов реализации третьего подхода к решению комбинаторных задач на графах, предусматривающий приведение исходной графовой модели к задаче математического программирования и последующее решение последней в инструментальной среде надстройки MS Excel «Поиск решения». Цель статьи – показать результативность и достаточную общность такого способа решения комбинаторных задач на графах.

**Основная часть.** В данной статье рассматриваются четыре классические графовые модели, которые приводятся к задаче математического программирования, а для численного решения последней используется MS Excel.

*1. Задача о наименьшем доминирующем множестве вершин*

Задача о наименьшем доминирующем множестве вершин графа формулируется следующим образом. Пусть  $G = \langle V, E \rangle$  – некоторый граф, который задан множеством своих вершин  $V$  и матрицей смежности  $S$ . Требуется найти доминирующее множество вершин графа, имеющее наименьшее число элементов. (Доминирующим множеством вершин  $U$  графа  $G = \langle V, E \rangle$  называется такое подмножество множества вершин  $V$ , что для каждой вершины  $v_i$ , не входящей в  $U$ , существует ребро, соединяющее хотя бы одну вершину множества  $U$  с вершиной  $v_i$ ). Если трактовать вершины графа как охраняемые объекты, а элементы матрицы смежности  $s_{ij}$  рассматривать как заданные бинарные параметры, равные 1, если объект  $v_j$  виден (может контролироваться) из объекта  $v_i$ , и равные 0 – в противном случае, то получим известную задачу о часовых, в которой требуется расставить часовых по охраняемым объектам так, чтобы все объекты были взяты под контроль при минимальном количестве часовых.

Пусть  $n$  – число вершин графа  $G$ ;  $x_i (i = 1, n)$  – бинарная переменная, равная 1,

если вершина  $v_i$  входит в минимальное доминирующее множество, и равная 0 – в противном случае. Тогда задачу о наименьшем доминирующем множестве вершин графа можно записать в виде следующей оптимизационной модели:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_i &\rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n x_i s_{ij} &\geq 1, j = \overline{1, n}; \\ x_i &\in \{0, 1\}, i = \overline{1, n}. \end{aligned}$$

Данная модель – это задача линейного целочисленного программирования. Целевой функцией определяется число вершин, включенных в доминирующее множество. Первая группа из  $n$  ограничений – это условия того, что каждая вершина, не входящая в доминирующее множество, должна иметь общее ребро хотя бы с одной вершиной из доминирующего множества. Вторая группа из  $n$  ограничений – это условия двоичности переменных  $x_i$ .

В качестве примера найдем наименьшее доминирующее множество вершин графа  $G_1$ , показанного на рисунке 1. Модель оптимизации при этом содержит 7 неизвестных, а ее численная реализация в инструментальной среде MS Excel дала следующие результаты:  $x_1 = 0$ ;  $x_2 = 1$ ;  $x_3 = 0$ ;  $x_4 = 0$ ;  $x_5 = 0$ ;  $x_6 = 0$ ;  $x_7 = 0$ . Это значит, что наименьшее доминирующее множество вершин графа  $G_1$  состоит из вершин 2 и 6, т. е.  $U_{\min} = \{2, 6\}$ .

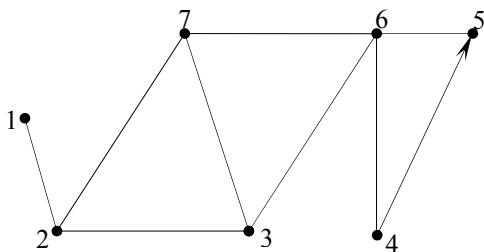


Рис.1. Граф  $G_1$

Следует отметить, что полученное оптимальное решение не является единственным, поскольку граф  $G_1$  имеет еще одну пару вершин  $\{2, 4\}$ , также образующую доминирующее множество.

2. Задача о кратчайшем пути

Задача о кратчайшем пути на графе формулируется следующим образом. Пусть  $G = \langle V, E \rangle$  – связный граф, который задан множеством своих вершин  $V$  и матрицей смежности  $S$ . Известна весовая матрица графа  $P$ , элементы которой  $p_{ij}$  задают вес (обычно трактуемый как длина) соответствующих ребер. Даны две произвольные вершины  $v_i, v_q \in V$ . Требуется найти путь наименьшего веса (кратчайший путь) из  $v_i$  в  $v_q$ .

Сформулируем задачу о кратчайшем пути как задачу математического программирования. Пусть  $n = |V|$  – число вершин графа;  $x_{ij}$  – бинарная переменная, равная 1, если ребро  $(i, j) \in E$  принадлежит оптимальному маршруту из  $v_i$  в  $v_q$ , и равную 0 – в противном случае. Тогда, учитывая то, что все маршруты из  $v_i$  в  $v_q$ , содержащие циклы, заведомо не являются оптимальными, задачу о кратчайшем пути можно записать в виде следующей оптимизационной модели:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} p_{ij} s_{ij} &\rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n x_{ii} s_{ii} &= 0; \sum_{j=1}^n x_{ij} s_{ij} = 1; \\ \sum_{i=1}^n x_{iq} s_{iq} &= 1; \sum_{j=1}^n x_{qj} s_{qj} = 0; \\ \sum_{i=1}^n x_{ik} s_{ik} &= \sum_{j=1}^n x_{kj} s_{kj}, k = \overline{1, n}, k \neq i, k \neq q; \\ \sum_{i=1}^n x_{ik} s_{ik} + \sum_{j=1}^n x_{kj} s_{kj} &\leq 2, k = \overline{1, n}, k \neq i, k \neq q; \\ x_{ij} &\in \{0, 1\}, i, j \in \overline{1, n}. \end{aligned}$$

Данная модель относится к классу задач линейного целочисленного программирования. Целевой функцией задается вес маршрута, связывающего вершины  $v_i$  и  $v_q$ . Первая пара ограничений – это условия того, что степень входа начальной вершины должна быть равна 0, а степень выхода равна 1. Вторая пара ограничений – это условия того, что степень входа конечной вершины должна быть равна 1, а степень выхода равна 0. Следующие две группы ограничений – это балансо-

вые условия для промежуточных вершин. Смысл их состоит в том, что для каждой промежуточной вершины, через которую проходит маршрут, должно выполняться условие равенства входящих и выходящих ребер и при этом количество инцидентных ребер не может быть больше 2 (в любую промежуточную вершину можно зайти и выйти из нее только 1 раз). Последняя группа ограничений задает условия двоичности переменных  $x_{ij}$ . Решением сформулированной задачи являются оптимальные значения неизвестных  $x_{ij}$ , которые определяют ребра графа, составляющие кратчайший путь из  $v_i$  в  $v_q$ , и, соответственно, вес этого маршрута.

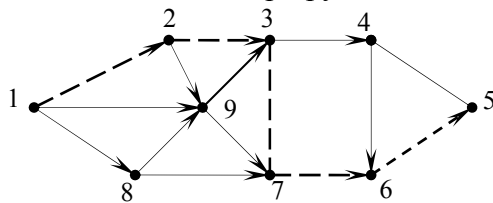


Рис. 2. Граф  $G_2$

Таблица 1

Весовая матрица графа  $G_2$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		10							5
2			15						5
3				40			10		
4					20	5			
5				20		25			
6					25				
7			10			10			
8							20		15
9			25				30		

В качестве примера рассмотрим задачу выбора кратчайшего пути из вершины 1 в вершину 5 на смешанном графе  $G_2$ , изображенном на рисунке 2. Весовая матрица, задающая длину ребер, показана в таблице 1.

Задача выбора кратчайшего пути на графе  $G_2$  имеет 16 неизвестных. Ее решение в среде MS Excel привело к следующим результатам:  $x_{12} = 1$ ;  $x_{18} = 0$ ;  $x_{19} = 0$ ;  $x_{23} = 1$ ;  $x_{29} = 0$ ;  $x_{87} = 0$ ;  $x_{89} = 0$ ;  $x_{93} = 0$ ;  $x_{97} = 0$ ;  $x_{37} = 1$ ;  $x_{73} = 0$ ;  $x_{34} = 0$ ;  $x_{46} = 0$ ;  $x_{45} = 0$ ;  $x_{76} = 1$ ;  $x_{65} = 1$ .

Таким образом, получили такой кратчайший маршрут, связывающий вершины 1 и 5: 1-2-3-7-6-5 (см. рис. 2). Его протяженность равна 70.

### 3. Задача о кратчайшем гамильтоновом цикле

Задача о кратчайшем гамильтоновом цикле на графе формулируется следующим образом. Пусть  $G = \langle V, E \rangle$  – простой связный граф, имеющий, по крайней мере, два гамильтоновых контура, задан множеством своих вершин  $V$  и матрицей смежности  $S$ . Известна весовая матрица графа  $P$ , элементы которой  $p_{ij}$  задают вес соответствующих ребер. Требуется найти гамильтонов цикл наименьшего веса (кратчайший гамильтонов цикл). Если интерпретировать вершины как населенные пункты, ребра – как дороги, их соединяющие, а вес  $p_{ij}$  – как длину соответствующей дороги, то получим известную задачу коммивояжера, в которой бродячему торговцу требуется обойти несколько городов и вернуться обратно, посещая каждый город только 1 раз, и при этом затратить минимальное время на переходы.

Сформулируем задачу о кратчайшем гамильтоновом цикле как задачу математического программирования. Пусть  $n = |V|$  – число вершин графа;  $I = \overline{1, n}$ ;  $J$  – некоторое подмножество множества  $I$  ( $J \subset I$ );  $x_{ij}$  – бинарная переменная, равная 1, если ребро  $(i, j)$  из  $E$  принадлежит оптимальному гамильтонову контуру, и равную 0 – в противном случае. Тогда задачу о кратчайшем гамильтоновом цикле можно записать в виде следующей оптимизационной модели:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} p_{ij} s_{ij} \rightarrow \min$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} s_{ij} = 1, i \in I;$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ji} s_{ji} = 1, i \in I;$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in I \setminus J} x_{ij} s_{ij} \geq 1, 2 \leq |J| \leq n - 2, J \subset I;$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, i, j \in I.$$

Таблиця 2

Весовая матрица графа  $G_3$ 

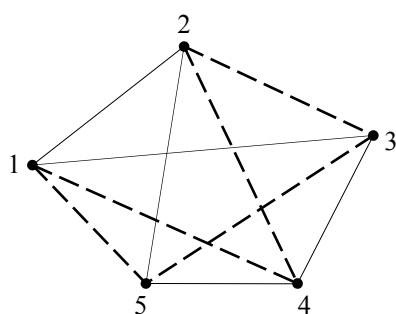
	1	2	3	4	5
1		30	35	10	15
2	30		10	15	40
3	35	10		35	10
4	10	15	35		20
5	15	40	10	20	

## 4. Задача о максимальном потоке в сети

Транспортной системой называется транспортная инфраструктура, включающая в себя транспортные узлы (терминалы) и транспортные коммуникации (коридоры), предназначенная для транспортировки некоторого продукта (продукт здесь понимается в широком смысле, это может быть, например, нефть, газ, лес, поезда, вагоны, пароходы, самолеты и т. д.). Транспортные коммуникации служат для перемещения продукта, а транспортные узлы – для перераспределения (грузо)потока продукта. Сеть (или транспортная сеть) – это связный ориентированный взвешенный граф. Сети (их вершины обычно называют узлами) традиционно используются для моделирования транспортных систем. При этом ребрам ставятся в соответствие транспортные коммуникации, а вершинам (узлам) – транспортные узлы. Истоком в сети называется узел, степень входа которого равна 0. Исток рассматривается как источник, из которого выходит продукт. Стоком в сети называется узел, степень выхода которого равна 0. Сток рассматривается как приемник, в который приходит продукт. Пропускной способностью ребра  $(i, j)$  называется максимальное количество продукта  $p_{ij}$ , которое может пропустить ребро за единицу времени. Аналогично, пропускной способностью сети называется максимальное количество продукта, которое может пропустить сеть за единицу времени. Поток в сети – это функция, которая каждому ребру сети  $(i, j)$  ставит в соответствие неотрицательное число  $x_{ij} \leq p_{ij}$ , равное фактическому количеству продукта, проходящего через ребро за единицу времени. Величина потока в сети оценивается количеством продукта, входящего в сток за единицу времени. Поток называется максимальным, если его величина равна пропускной способ-

Данная модель – это задача линейного целочисленного программирования. Целевой функции задается вес гамильтонова контура. Первая группа из  $n$  ограничений – это условия того, что степень входа каждой вершины должна быть равна 1 (в любую вершину можно войти только 1 раз). Вторая группа из  $n$  ограничений – это условия того, что степень выхода каждой вершины должна быть равна 1 (из любой вершины можно выйти только 1 раз). Следующая группа ограничений – это условия, исключающие возможное появление неполных циклов. Последняя группа ограничений задает условия двоичности переменных  $x_{ij}$ . Решением сформулированной задачи являются оптимальные значения неизвестных  $x_{ij}$ , которые определяют ребра графа, образующие гамильтонов цикл наименьшего веса.

В качестве примера рассмотрим задачу выбора кратчайшего гамильтонова цикла на полном графе  $G_3$ , изображенном на рисунке 3. Весовая матрица, задающая длину ребер, показана в таблице 2.

Рис. 3. Граф  $G_3$ 

Задача выбора кратчайшего гамильтонова цикла на графе  $G_3$  имеет 20 неизвестных. Ее решение в среде MS Excel привело к следующим результатам:  $x_{12} = 0$ ;  $x_{13} = 0$ ;  $x_{14} = 0$ ;  $x_{15} = 1$ ;  $x_{21} = 0$ ;  $x_{23} = 0$ ;  $x_{24} = 1$ ;  $x_{25} = 0$ ;  $x_{31} = 0$ ;  $x_{32} = 1$ ;  $x_{34} = 0$ ;  $x_{35} = 0$ ;  $x_{41} = 1$ ;  $x_{42} = 0$ ;  $x_{43} = 0$ ;  $x_{45} = 0$ ;  $x_{51} = 0$ ;  $x_{52} = 0$ ;  $x_{53} = 1$ ;  $x_{54} = 0$ .

Таким образом, получили такой кратчайший гамильтонов цикл: 1-5-3-2-4-1 (см. рис. 3). Его протяженность равна 60.



ности сети.

Задача о максимальном потоке в сети формулируется следующим образом. Пусть  $G = \langle V, E \rangle$  – сеть, которая определена множеством своих узлов  $V$ , матрицей смежности  $S$  и весовой матрицей  $P$ , элементы которой  $p_{ij}$  задают пропускную способность соответствующих ребер. Заданы исток и сток сети, соответственно узлы  $v_i, v_q$ . Требуется найти максимальный поток в сети.

Сформулируем задачу о максимальном потоке в сети как задачу математического программирования. Пусть  $n = |V|$  – число узлов сети;  $x_{ij} (0 \leq x_{ij} \leq p_{ij})$  – переменная, равная фактическому количеству продукта, проходящего через ребро  $(i, j) \in E$  за единицу времени. Тогда задачу о максимальном потоке можно записать в виде следующей оптимизационной модели:

$$\sum_{i=1}^n x_{iq} s_{iq} \rightarrow \min$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} s_{ij} = \sum_{i=1}^n x_{iq} s_{iq};$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ik} s_{ik} = \sum_{j=1}^n x_{kj} s_{kj}, k = \overline{1, n}, k \neq t, k \neq q;$$

$$0 \leq x_{ij} \leq p_{ij}, i, j \in \overline{1, n}.$$

Данная модель – это классическая задача линейного программирования. Целевая функция определяет величину потока в сети. Первое ограничение – это условия того, что количество продукта, выходящего из истока, должно быть равно количеству продукта, заходящему в сток (рассматривается идеальная сеть без потерь).

Следующая группа из  $n - 2$  ограничений – это балансовые условия для промежуточных узлов. Смысл их состоит в том, что в каждой промежуточный узел должно войти и выйти из него одинаковое количество продукта.

Последняя группа ограничений – это граничные условия значений неизвестных  $x_{ij}$ . Решением сформулированной задачи являются оптимальные значения неизвестных  $x_{ij}$ , которые определяют количество продукта,

проходящего через соответствующие ребра, а также величину максимального потока в сети. В качестве примера найдем максимальный поток сети, показанной на рисунке 4. Пропускная способность ребер задана весовой матрицей (табл. 3.).

Таблица 3

Весовая матрица сети  $G_4$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		20	20							
2				30						
3					20					
4						15	30			
5						5		10		
6									10	
7										20
8										30
9							20	20		
10										

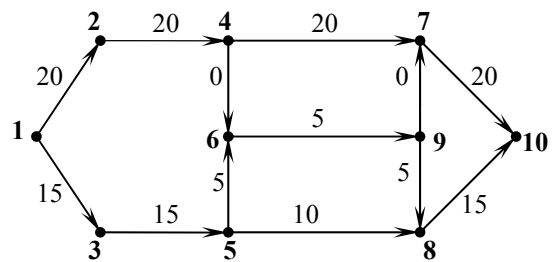


Рис. 4. Сеть  $G_4$

Задача о максимальном потоке на графе  $G_4$  имеет 13 неизвестных. Ее решение в среде MS Excel привело к следующим результатам:  $x_{12} = 20$ ;  $x_{13} = 15$ ;  $x_{24} = 20$ ;  $x_{35} = 15$ ;  $x_{47} = 20$ ;  $x_{46} = 0$ ;  $x_{58} = 10$ ;  $x_{56} = 5$ ;  $x_{69} = 5$ ;  $x_{79} = 0$ ;  $x_{710} = 20$ ;  $x_{88} = 5$ ;  $x_{810} = 15$ . Таким образом, пропускная способность сети  $G_5$  равна  $x_{710} + x_{810} = 35$ . Соответствующее этой величине пропускной способности распределение продукта по ребрам показано на рисунке 4.

**Выводы.** Полученные в статье результаты показывают, что многие комбинаторные задачи, сформулированные в терминах графов, могут быть достаточно легко переформулированы в виде задачи математического программирования. Получаемая при этом оптимизационная модель, как правило, оказывается линейной относительно неизвестных. Для численной реализации таких моделей хо-

рошо приспособлена надстройка MS Excel технологией решения комбинаторных задач «Поиск решения», что делает табличный процессор Excel эффективной компьютерной на графах даже в случае их достаточно большой размерности.

### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Современная логистика / Джеймс С. Джонсон, Дональд Ф. Вуд, Дэниел Л. Вордлоу, Поль Р. Мэрфи-мл. ; [пер. с англ. А. И. Мороза, С. Г. Тригуб]. – 7-е изд. – Москва : Вильямс, 2002. – 615 с.
2. Ловас Л. Прикладные задачи теории графов. Теория паросочетаний в математике, физике, химии / Л. Ловас, М. Пламмер ; пер. с англ. Г. П. Гаврилова [и др.] ; под ред. Г. П. Гаврилова. – Москва : Мир, 1998. – 653 с. : ил.
3. Касьянов В. Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В. Н. Касьянов, В. А. Евстигнеев. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2003. – 1104 с. – (Научное издание).
4. Костюкова Н. И. Графы и их применение. Комбинаторные алгоритмы для программистов / Н. И. Костюкова. – Москва, 2007. – 310 с. – (Основы информационных технологий).
5. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах : пер. с англ. / Э. Майника. – Москва : Мир, 1981. – 323 с.
6. Алгоритмы: построение и анализ : пер. с англ. / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. – Москва : Вильямс, 2006. – 1296 с.
7. Зыков А. А. Основы теории графов / А. А. Зыков. – Москва : Вузовская книга, 2004. – 664 с.
8. Горбатов В. А. Фундаментальные основы дискретной математики. Информационная математика / В. А. Горбатов. – Москва : Наука : Физматлит, 2000. – 544 с.
9. Берж К. Теория графов и ее применение / К. Берж ; пер. с фр. и послесл. А. А. Зыкова ; под ред. И. А. Вайнштейна. – Москва : Иностран. лит., 1962. – 319 с.
10. Кофман А. Введение в прикладную комбинаторику / Кофман А. ; пер. с фр. В. П. Мякишева, В. Е. Тараканова ; под ред. Б. А. Севастьянова. – Москва : Наука, 1975. – 479 с.
11. Ахо А. Построение и анализ вычислительных алгоритмов : пер. с англ. / А. Ахо, Дж. Хопкрофт, Дж. Ульман ; пер. с англ. А. О. Слисенко ; под ред. Ю. В. Матиясевича. – Москва : Мир, 1979. – 536 с.
12. Басакер Р. Конечные графы и сети : пер. с англ. / Р. Басакер, Т. Саати. – Москва : Наука, 1974. – 368 с.

### REFERENCES

1. Johnson J.C., Wood D.F., Vordlou D.L. and Murphy-ml P.R. *Sovremennaya logistika* [Modern Logistics]. Moscow: Vil'yams, 2002, 615 p. (in Russian).
2. Lovas L. and Plammer M. *Prikladnye zadachi teorii grafov. Teoriya parosochetaniy v matematike, fizike, khimii* [Applied tasks of graph theory. Matchings theory in mathematics, physics, chemistry]. Moscow: Mir, 1998, 653 p. (in Russian).
3. Kas'yanov V.N. and Evstigneev V.A. *Grafy v programmirovanii: obrabotka, vizualizatsiya i primeneniye* [Graphs in programming: processing, visualization and application]. Sankt-Peterburg: BKHV Peterburg, 2003, 1104 p. (in Russian).
4. Kostyukova N.I. *Grafy i ikh primeneniye. Kombinatornye algoritmy dlya programmistov* [Graphs and their application. Combinatorial algorithms for programmers]. Moscow, 2007, 310 p. (in Russian).
5. Majnika E. *Algoritmy optimizatsii na setyakh i grafakh* [Optimization algorithms on networks and graphs]. Moscow: Mir, 1981, 323 p. (in Russian).
6. Kormen T., Lejzerson Ch., Rivest R. and Shtain K. *Algoritmy: postroenie i analiz* [The algorithms for working with graphs]. Moscow: Vil'yams, 2006, 1296 p. (in Russian).
7. Zykov A.A. *Osnovy teorii grafov* [Fundamentals of graph theory]. Moskva: Vuzovskaya kniga, 2004, 664 p. (in Russian).
8. Gorbатов V.A. *Fundamental'nye osnovy diskretnoy matematiki. Informatsionnaya matematika* [Fundamentals of discrete mathematics. Information Mathematics]. Moscow: Nauka, Fizmatlit, 2000, 544 p. (in Russian).
9. Berzh K. *Teoriya grafov i ee primeneniye* [Graph theory and its applications]. Moscow: Inostran. lit., 1962, 319 p. (in Russian).
10. Kofman A. *Vvedenie v prikladnuyu kombinatoriku* [Introduction to applied combinatorics]. Moscow: Nauka, 1975, 479 p. (in Russian).
11. Akho A., Khopkroft D. and Ul'man D. *Postroenie i analiz vychislitel'nykh algoritmov* [Construction and analysis of computational algorithms]. Moscow: Mir, 1979, 536 p. (in Russian).
12. Basaker R. and Saati T. *Konechnye grafy i seti* [Finishing graphs and networks]. Moscow: Nauka, 1974, 368 p. (in Russian).

Рецензент: д-р т. н., проф. Н. М. Ершова

Надійшла до редколегії: 29.08.2015 р. Прийнята до друку: 18.10.2015 р.

УДК 519.85

## ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ТОЧНОЙ КВАДРАТИЧНОЙ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ

КОСОЛАП А. И.<sup>1\*</sup>, д. физ-мат. н., проф.,ДОВГОПОЛАЯ А. А.<sup>2\*</sup>, аспирант.

<sup>1\*</sup> Кафедра специализированных компьютерных систем, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», ул. Набережная Победы, 40, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 7535726, e-mail: anivkos@ua.fm, ORCID ID: 0000-0001-73386707

<sup>2\*</sup> Кафедра специализированных компьютерных систем, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», ул. Набережная Победы, 40, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 7535726, e-mail: dovgorolaya09@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5485-9721

**Аннотация.** В работе рассматривается задача оптимизации структуры систем резервирования элементов. Такие задачи возникают при проектировании сложных систем. Для повышения надежности функционирования таких систем ее элементы дублируются. Это увеличивает стоимость системы и повышает ее надежность. При оптимизации таких систем максимизируется вероятность безотказной работы всей системы при ограничении на ее стоимость либо минимизируется стоимость при заданной вероятности безотказной работы. Математическая модель задачи резервирования является дискретной многоэкстремальной. Для поиска глобального экстремума в настоящее время используются методы множителей Лагранжа, покоординатного спуска, динамического программирования, случайного поиска. Эти методы гарантируют получение только локальных решений и используются в задачах резервирования малой размерности. В работе для решения задач резервирования используется новый метод точной квадратичной регуляризации. Этот метод позволяет преобразовать исходную дискретную многоэкстремальную задачу к максимизации нормы вектора на выпуклом множестве. Это означает, что все многообразие задач резервирования приводится к задаче максимизации нормы вектора на выпуклом множестве. Для решения преобразованной задачи используется прямо-двойственный метод внутренней точки. В настоящее время, это лучший метод для локальной оптимизации нелинейных задач. Преобразованная задача содержит новую вспомогательную переменную, которая определяется методом дихотомии. Были проведены многочисленные сравнительные численные эксперименты в задачах резервирования с числом подсистем до ста. Эти эксперименты подтверждают эффективность метода точной квадратичной регуляризации для решения задач резервирования.

**Ключевые слова:** системы резервирования, оптимизация, многоэкстремальные задачи, метод точной квадратичной регуляризации

## ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМ РЕЗЕРВУВАННЯ МЕТОДОМ ТОЧНОЇ КВАДРАТИЧНОЇ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ

КОСОЛАП А. І.<sup>1\*</sup>, д. фіз-мат. н., проф.,ДОВГОПОЛА А. О.<sup>2\*</sup>, аспірант.

<sup>1\*</sup> Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», вул. Набережна Перемоги, 40, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 7535726, e-mail: anivkos@ua.fm, ORCID ID: 0000-0001-73386707

<sup>2\*</sup> Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», вул. Набережна Перемоги, 40, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 7535726, e-mail: dovgorolaya09@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5485-9721

**Анотація.** У роботі розглядається задача оптимізації структури систем резервування елементів. Такі задачі виникають при проектуванні складних систем. Для підвищення надійності функціонування таких систем її елементи дублюються. Це збільшує вартість системи і підвищує її надійність. При оптимізації таких систем максимізується ймовірність безвідмовної роботи всієї системи при обмеженні на її вартість або мінімізується вартість при заданій ймовірності безвідмовної роботи. Математична модель задачі резервування є дискретною та багатоекстремальною. Для пошуку глобального екстремуму в даний час використовуються методи множників Лагранжа, покоординатного спуску, динамічного програмування, випадкового пошуку. Ці методи гарантують отримання тільки локальних розв'язків і використовуються в задачах резервування малої розмірності. У роботі для вирішення завдань резервування використовується новий метод точної квадратичної регуляризації. Цей метод дозволяє перетворити вихідну дискретну багатоекстремальну задачу до максимізації норми вектора на опуклій множині. Це означає, що все різноманіття завдань резервування приводиться до задачі максимізації норми вектора на опуклій множині. Для вирішення перетвореної задачі використовується прямо-двоїстий метод внутрішньої точки. В даний час, це кращий метод для локальної оптимізації нелінійних задач. Перетворена задача містить нову допоміжну змінну, яка визначається методом дихотомії. Були проведені численні порівняльні чисельні експерименти в задачах резервування з числом підсистем до ста. Ці

експерименти підтверджують ефективність методу точної квадратичної регуляризації для розв'язання задач резервування.

**Ключові слова:** системи резервування, оптимізація, багатоекстремальні задачі, метод точної квадратичної регуляризації

## STRUCTURE OPTIMIZATION OF RESERVATION BY PRECISE QUADRATIC REGULARIZATION

KOSOLAP A. I.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof.*,

DOVGOPOLA A. A.<sup>2\*</sup>, *PhD student.*

<sup>1\*</sup> Department of specialized computer systems, State Higher Education Establishment «Ukrainian State University of Chemical Technology», 40, Naberezhna Peremogy str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 7535726, e-mail: anivkos@ua.fm, ORCID ID: 0000-0001-73386707

<sup>2\*</sup> Department of specialized computer systems, State Higher Education Establishment «Ukrainian State University of Chemical Technology», 40, Naberezhna Peremogy str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 7535726, e-mail: dovopolaya09@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5485-9721

**Summary.** The problem of optimization of the structure of systems redundancy elements. Such problems arise in the design of complex systems. To improve the reliability of operation of such systems of its elements are duplicated. This increases system cost and improves its reliability. When optimizing these systems is maximized probability of failure of the entire system while limiting its cost or the cost is minimized for a given probability of failure-free operation. A mathematical model of the problem is a discrete backup multiextremal. To search for the global extremum of currently used methods of Lagrange multipliers, coordinate descent, dynamic programming, random search. These methods guarantee a just and local solutions are used in the backup tasks of small dimension. In the work for solving redundancy uses a new method for accurate quadratic regularization. This method allows you to convert the original discrete problem to the maximization of multi vector norm on a convex set. This means that the diversity of the tasks given to the problem of redundancy maximize vector norm on a convex set. To solve the problem, a reformed straight-dual interior point methods. Currently, it is the best method for local optimization of nonlinear problems. Transformed the task includes a new auxiliary variable, which is determined by dichotomy. There have been numerous comparative numerical experiments in problems with the number of redundant subsystems to one hundred. These experiments confirm the effectiveness of the method of precise quadratic regularization for solving problems of redundancy.

**Key words:** backup system, optimization, multiextremal problems, the exact method of quadratic regularization

**Постановка проблеми.** Проблема надійності стає все більш гострою в зв'язі з проектуванням складної техніки, важливістю задач, виконуваних нею, підвищенням вимог до безпеки і термінам експлуатації. Використання ЕВМ для зберігання і обробки статистичних даних, проведення розрахунків показників надійності, прогнозування стану технічних систем, зберігання і видачі інформації дозволяє звести до мінімуму витрати часу, ресурсів і засобів на дослідження надійності в процесі створення нового виробу [1]. Проблемі надійності присвячено багато книг, в тому числі багато навчальних посібників [2-3].

Одним з найбільш ефективних методів підвищення надійності систем є структурне (або апаратне) резервування систем. Суть такого резервування полягає в тому, що в мінімально необхідний варіант технічної системи, елементи якої називаються основними, вводяться додаткові елементи, кото-

ри заміняють основні елементи при їх поломці. Чим більше допоміжних елементів, тим вище надійність системи. При проектуванні систем, вводять обмеження на їх вартість, максимізуючи при цьому ймовірність безотказної роботи системи. В інших випадках, мінімізують вартість системи при заданій ймовірності безотказної роботи. Існує велика кількість варіантів з'єдинень елементів системи, що ускладнює розрахунок надійності таких систем. Розрізняють послідовне, паралельно-послідовне і мостове з'єдинення елементів. Резервування може бути поелементне або скользящее, коли резервні елементи встановлюються для груп основних елементів. Частіше за все резерв буває навантаженим або ненавантаженим [4].

При розв'язанні задачі оптимального резервування визначають кількість допоміжних елементів системи. Така задача зводиться до нелінійної оптимізації. Структура цільової функції або обмеже-

ний задачи оптимального резервирования является достаточно сложной, что приводит к многоэкстремальным задачам [5]. Кроме того, переменными данной задачи являются целые числа, что делает ее дискретной. Несмотря на значительные усилия, до настоящего времени не разработаны эффективные методы решения этого класса задач. При решении простых задач оптимального резервирования систем используется метод множителей Лагранжа, метод покоординатного спуска, динамическое программирование, случайный поиск [6-11]. Однако эти методы часто приводят в точку локального минимума, которая может быть далекой от лучшего решения. Поэтому большинство исследований по оптимальному резервированию ограничивается системами с небольшим числом элементов и простой структурой системы резервирования.

Целью данной работы является использование нового метода точной квадратичной регуляризации для решения многоэкстремальных задач систем резервирования. Этот метод показал свою эффективность при решении многих тестовых задач и применим для решения многоэкстремальных задач большой размерности.

**Постановка задачи.** Пусть  $R(x)$  – вероятность безотказной работы системы, где  $x$  – целочисленный вектор, компонентами которого являются количества резервных элементов для каждого основного элемента системы. Известна также функция стоимости  $C(x)$  всех элементов системы. Тогда возможно постановка несколько вариантов задач оптимального резервирования. В задаче

$$\max \{R(x) | C(x) \leq C_0, x \geq 1, x \in N\}, \quad (1)$$

максимизируется вероятность безотказной работы системы при ограничении на ее стоимость, где  $N$  – множество натуральных чисел. Обратной к задаче (1) является следующая

$$\min \{C(x) | R(x) \geq R_0, x \geq 1, x \in N\} \quad (2)$$

в которой минимизируется стоимость системы при заданной вероятности безотказной работы. Часто сложная система разбивается

на подсистемы и для каждой подсистемы задача (1) либо (2) имеют свои ограничения данного вида.

Таким образом, для решения задачи оптимального резервирования элементов системы необходимо определить функции  $R(x)$  и  $C(x)$ . Функцию стоимости системы  $C(x)$  чаще всего выбирают линейной. Определение функции  $R(x)$  покажем на примере системы резервирования (рис. 1).

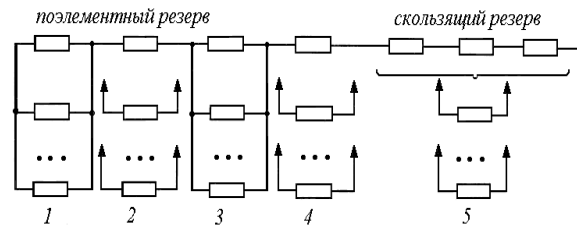


Рис. 1. Структурная схема системы

для 1-го и 3-го участков

$$R_i(x_i) = 1 - q_i^{x_i+1};$$

для 2-го и 4-го участков

$$R_i(x_i) = e^{-\lambda_i t} \sum_{j=0}^{x_i} \frac{(\lambda_i t)^j}{j!}$$

и для 5-го участка

$$R_5(x_5) = \sum_{j=3}^{3+x_5} C_{3+x_5}^j r_5^j q_5^{3+x_5-j}.$$

Функции  $R_i(x_i)$ , которые содержат переменную в знаке суммирования могут быть преобразованы. Выражение

$$\sum_{i=1}^x q_i$$

может быть записано в виде

$$q_1 y_1 + (q_1 + q_2) y_2 + \dots + (q_1 + \dots + q_m) y_m,$$

$$\sum_{i=1}^m y_i = 1, y = 0 \vee 1,$$

где  $x \leq m$  – максимально возможное число резервных элементов подсистемы. Это преобразование рекомендуется использовать, если число скользящих резервов в системе больше одного.

Зная вероятности безотказной работы каждой подсистемы легко определяем веро-

ятности безотказной работы всей системы по формуле

$$R(x) = \prod_{i=1}^n R_i(x_i),$$

где  $n$  – число основных элементов системы.

**Метод точной квадратичной регуляризации (EQR) [10].** Этим методом задача (1) преобразуется к виду:

$$\max \{ \|z\|^2 - R(x) + s + (r-1)\|z\|^2 \leq d, C(x) \leq C_0, x \geq 1, x \in N \}, \quad (3)$$

где  $z = (x, x_{n+1})$ . Задача (3) содержит новую переменную  $d$  и два параметра  $s, r$ . Эта задача дискретная, поэтому преобразуем ее к непрерывной, заменяя условие  $x \in N$  новым ограничением

$$\max \{ \|z\|^2 - R(x) + s + (r-1)\|z\|^2 \leq d, C(x) \leq C_0, x \geq 1, \sum_{i=1}^n (1 - \cos(2\pi x_i)) \leq 0 \}. \quad (4)$$

В задаче (4) необходимо найти минимальное значение  $d$ , для которого выполняется условие

$$r \sum_{i=1}^{n+1} z_i^2 = d. \quad (5)$$

Это значение  $d$  легко найти методом дихотомии, изменяя значение  $d$  с определенным шагом и решая для каждого фиксированного значения  $d$  задачу (4) двойственным методом внутренней точки [11]. При изменении  $d$  левая часть выраже-

ния (5) будет монотонно возрастать до достижения равенства (5).

Суть преобразования метода EQR в том, что при соответствующем выборе параметра  $r > 0$  допустимое множество задачи (4) становится выпуклым, что упрощает ее решение. Параметр  $s$  определяем из неравенства

$$s \geq \|x^*\|^2 + R(x^*),$$

где  $x^*$  - решение задачи (1). Значение  $s$  может корректироваться по ходу вычислений.

В работе [10] показано, что смещение допустимого множества задачи (4) в положительный ортант упрощает решение этой задачи. Такое смещение образуется простой заменой вектора  $z$  на вектор  $z + h$ , где  $h$  – величина смещения.

Проведены значительные эксперименты с числом основных элементов системы до 100. Эти эксперименты показали лучшие решения по сравнению с существующими методами решения задач оптимального резервирования.

**Выводы.** В данной работе для класса задач оптимального резервирования элементов систем использован новый метод точной квадратичной регуляризации. Этот метод может быть использован для решения сложных задач резервирования большой размерности. Сравнительные численные эксперименты показали его преимущество над существующими методами решения задач оптимального резервирования.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ершова Н. М. Математические методы исследования операций / Н. М. Ершова, А. И. Косолап. – Днепропетровск : ПГАСА, 2015. – 256 с.
2. Капур К. Надежность и проектирование систем / К. Капур, Л. Л. Ламберсон ; пер. с англ. Е. Г. Коваленко ; под ред. И. А. Ушакова. – Москва : Мир, 1980. – 604 с.
3. Косолап А. И. Методы глобальной оптимизации / А. И. Косолап. – Днепропетровск : Наука и образование, 2013. – 316 с.
4. Косолап А. И. Глобальная оптимизация. Метод точной квадратичной регуляризации / А. И. Косолап. – Днепропетровск : ПГАСА, 2015. – 164 с.
5. Львович Я. Е. Генетический алгоритм решения многокритериальной задачи повышения надежности резервирования / Я. Е. Львович, И. Л. Каширина, А. А. Тузиков // Информационные технологии. – 2012. – № 6. – С. 56-60.
6. Надежность технических систем : справочник / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин [и др.] ; под ред. И. А. Ушакова. – Москва : Радио и связь, 1985. – 608 с.
7. Норкин В. И. Оптимизация надежности сложной системы стохастическим методом ветвей и границ / В. И. Норкин, Б. О. Онищенко // Кибернетика и системный анализ. – 2008. – № 3. – С. 129-141.

8. Ушаков И. А. Вероятностные модели надежности информационно-вычислительных систем / И. А. Ушаков. – Москва : Радио и связь, 1991. – 132 с.
9. Ушаков И. А. Курс теории надежности систем / И. А. Ушаков. – Москва : Дрофа, 2008. – 239 с.
10. Шкляр В. Н. Надежность системы управления : учеб. пособие / В. Н. Шкляр. – Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2011. – 126 с.
11. Birolini A. Reliability engineering: theory and practice / A. Birolini. – London ; New York : Springer, 2014. – 630 p.
12. New computational methods in power system reliability / ed. D. Elmakias. – Berlin ; Heidelberg : Springer-Verlag, 2008. – 419 p.
13. Nocedal J. Numerical optimization / J. Nocedal, S. J. Wright. – London ; New York : Springer, 2006. – 685 p.

## REFERENCES

1. Erschova N.M. and Kosolap A.I. *Matematicheskie metody issledovaniya operatsiy* [Mathematical methods of research of operations]. Dnepropetrovsk: PGASA, 2015, 256 p. (in Russian).
2. Kapur K.C. and Lamberson L.R. *Nadezhnost' i proektirovanie sistem* [Reliability and design of systems]. Moscow: Mir, 1980, 604 p. (in Russian).
3. Kosolap A.I. *Metody global'noy optimizatsii* [Methods of global optimization]. Dnepropetrovsk: Nauka i obrazovanie, 2013, 316 p. (in Russian).
4. Kosolap A.I. *Global'naya optimizatsiya. Metod tochnoy kvadrachnoy regulyarizatsii* [Global optimisation. A method of exact quadratic regularization]. Dnepropetrovsk: PGASA, 2015, 164 p. (in Russian).
5. Lvovich Ya.E., Kashirin I.L. and Tuzikov A.A. *Geneticheskii algoritm resheniya mnogokriterial'noy zadachi povysheniya nadezhnosti re-zervirovaniya* [Genetic algorithm of the solution multicriteria problems of increase of reliability of reservation]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information technologies]. 2012, no. 6, pp. 56-60. (in Russian).
6. Belyaev Yu.K., Bogatyrev V.A. and Bolotin V.V. *Nadezhnost' tekhnicheskikh siste* [Reliability of Technical Systems]. Moscow: Radio i svyaz', 1985, 608 p. (in Russian).
7. Norkin V.I. and Onishchenko B.O. *Optimizatsiya nadezhnosti slozhnoy sistema stokhasticheskim metodom vetvey i granits* [Optimization of reliability of a complex system by stochastic method of branches and borders]. *Kibernetika i sistemnyy analiz* [Cybernetics and system analysis]. 2008, no. 3, pp. 129-141. (in Russian).
8. Ushakov I.A. *Veroyatnostnye modeli nadezhnosti informatsionno-vychislitel'nykh sistem* [Probabilistic models of reliability of information systems]. Moscow: Radio i svyaz', 1991, 132 p.
9. Ushakov I.A. *Kurs teorii nadezhnosti system* [Course of the theory of reliability of systems]. Moscow: Drofa, 2008, 239 p. (in Russian).
10. Shklyar V.N. *Nadezhnost' sistema upravleniya* [The reliability of the control system]. Tomsk: Izdatelstvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2011, 126 p. (in Russian).
11. Birolini A. *Reliability engineering: theory and practice*. London; New York: Springer, 2014, 630 p.
12. Elmakias D. *New computational methods in power system reliability*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008, 419 p.
13. Nocedal J. and Wright S.J. *Numerical optimization*. London, New York: Springer, 2006, 685 p.

Рецензент: д-р т. н., проф. Н. М. Ершова

Надійшла до редколегії: 29.08.2015 р. Прийнята до друку: 18.10.2015 р.

## АРХІТЕКТУРА

УДК 728.2:620.92

**ПРИНЦИПИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЕНЕРГОАКТИВНИХ  
БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДИНКІВ-КОМПЛЕКСІВ  
З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ**

НЕВГОМОННИЙ Г. У., к. т. н., доц.

Кафедра архітектурного проектування і дизайну, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-94-98, e-mail: a\_nevgamonniy@i.ua, ORCID ID: 0000-0033-0078-0024.

**Анотація. Постановка проблеми.** Методологія проектування енергозберігальної висотної будівлі повинна ґрунтуватися на системному аналізі будівлі як єдиної енергетичної системи. Видатний архітектор Норман Фостер пише: «Архітектори не можуть вирішити всі світові екологічні проблеми, але ми можемо проектувати будівлі, що потребують тільки частини споживаної нині енергії, крім того, завдяки належному містобудівному плануванню ми можемо впливати на транспортні потоки. Розташування та функціональне призначення споруди, її конструктивна гнучкість і технологічний ресурс, орієнтація, форма і конструкція, системи обігріву та вентиляції, характеристики використовуваних для будівництва матеріалів - усі ці параметри впливають на кількість енергії, потрібної для зведення, експлуатації та технічного обслуговування будівлі, а також для транспорту, що рухається до неї і від неї» [1]. **Мета** дослідження полягає в науковому обґрунтуванні принципів формування архітектурних рішень енергоефективних житлових багатоповерхових будинків-комплексів та розробленні методики архітектурного проектування ЕЖБ із застосуванням енергії вітру, розробленні науково обґрунтованих принципів архітектурного формоутворення будівель із використанням засобів альтернативної енергетики та визначенні специфічних особливостей архітектурного проектування таких будівель. **Висновок.** Сформульовано можливі тенденції розвитку будівель з інтегрованими вітряними установками. Поліфункціональність вітряних установок полягає в спеціальних властивостях окремих елементів матеріально-конструктивної структури будівлі, які підвищують аеродинамічні характеристики зовнішньої оболонки і, відповідно, енергоефективність вітроприймальних пристроїв. Таким чином, ефективність енергосистеми вітроенергоактивної будівлі безпосередньо залежить від його об'ємно-просторового рішення.

**Ключові слова:** архітектура, висотні житлові будинки, енергоефективність, об'ємно-планувальні рішення

**ПРИНЦИПЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГОАКТИВНЫХ  
МНОГОЭТАЖНЫХ ДОМОВ-КОМПЛЕКСОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ВЕТРА**

НЕВГОМОННИЙ Г. У., к. т. н., доц.

Кафедра архитектурного проектирования и дизайна, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-94-98, e-mail: a\_nevgamonniy@i.ua, ORCID ID: 0000-0033-0078-0024.

**Аннотация. Постановка проблемы.** Методология проектирования энергосберегающего высотного здания должна основываться на системном анализе здания как единой энергетической системы. Выдающийся архитектор Норман Фостер пишет: «Архитекторы не могут решить все мировые экологические проблемы, но мы можем проектировать здания, требующие только части потребляемой сейчас энергии, кроме того, благодаря надлежащему градостроительному планированию мы можем влиять на транспортные потоки. Расположение и функциональное назначение сооружения, его конструктивная гибкость и технологический ресурс, ориентация, форма и конструкция, системы обогрева и вентиляции, характеристики используемых при строительстве материалов - все эти параметры влияют на количество энергии, требующейся для возведения, эксплуатации и технического обслуживания здания, а также для транспорта, движущегося к нему и от него» [1]. **Цель** исследования заключается в научном обосновании принципов формирования архитектурных решений энергоэффективных жилых многоэтажных домов-комплексов и разработке методики архитектурного проектирования ЭЖЗ с применением энергии ветра, разработке научно обоснованных принципов архитектурного формообразования зданий с использованием средств альтернативной энергетики и определении специфических особенностей архитектурного проектирования таких зданий. **Вывод.** Сформулированы возможные тенденции развития зданий с интегрированными ветряными установками. Полифункциональность ветряных установок заключается в специальных свойствах отдельных элементов материально-конструктивной



структуры здания, которые повышают аэродинамические характеристики внешней оболочки и, соответственно, энергоэффективность ветроприемных устройств. Таким образом, эффективность энергосистемы ветроэнергоактивного здания напрямую зависит от его объемно-пространственного решения.

**Ключевые слова:** архитектура, высотные жилые здания, энергоэффективность, объемно-планировочные решения

## THE PRINCIPLES OF POWER-RISE BUILDINGS COMPLEXES FORMATION USING WIND ENERGY

NEVGAMONNIY G. U. *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

Department of Architecture and Design, State Higher Education Establishment «Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 46-94-98, e-mail: a\_nevgamonniy@i.ua, ORCID ID: 0000-0033-0078-0024.

**Summary. Raising of problem.** The methodology of designing energy-efficient tower building should be based on systematic analysis of the building as a unified energy system. The prominent architect Norman Foster (Sir Norman Foster) writes: "Architects cannot solve all the world's environmental problems, but we can design buildings that require only a fraction of current energy consumption, in addition, through proper urban planning we can affect traffic flows. The location and functionality of buildings, its structural flexibility and technological resources, orientation, shape and structure, heating and ventilation characteristics used in the construction materials - all these parameters affect the amount of energy required for the construction, operation and maintenance of the building, and as for transportation, moving to it and from it" [1]. **Purpose.** The purpose of the study is scientific justification principles of architectural formation decisions of the power-rise energy efficient complexes and developing methods of architectural design of PRBC using wind energy. To develop the science-based principles forming the architectural buildings with the use of alternative energy and determine the specific features of the architectural design of buildings. **Conclusion.** The principles of architectural forming in the use of wind power and identify possible trends for the development of buildings with integrated wind installations. Polyfunctional wind power plants are in special properties of certain material and structural elements of the building structure, improve aerodynamic performance of the outer shell and therefore wind energy devices. Thus, the power efficiency of energy active building depends on its space solutions.

**Key words:** architecture, high-rise residential buildings, energy efficiency, space-planning decisions

**Постановка проблеми.** Енергозберігальними називаються такі будівлі, під час проектуванні яких був передбачений комплекс архітектурних та інженерних заходів, що забезпечують істотне зниження витрат енергії на тепlopостачання цих будинків порівняно зі звичайними (типовими) будівлями з одночасним підвищенням комфортності мікроклімату в приміщеннях. Методологія проектування енергозберігальної висотної будівлі повинна ґрунтуватися на системному аналізі будівлі як єдиної енергетичної системи. Поліпшенням енергоефективності може стати будівництво енергозберігальних висотних будівель - ЕВБ.

Теоретичною базою дослідження послужили праці:

- з дослідження врахування впливу клімату на проектування будівель і забудови населених місць: Т. А. Маркуса, Е. Н. Морріса, В. С. Беляєва, Л. П. Хохлової, Е. І. Реттера, [12; 13; 15];

- з вивчення екологічного аспекту формування енергоефективних будівель: А. Н. Те-

тіора, П. Н. Давіденко, З. К. Петрової, Н. А. Саприкіної [16 - 21];

- з розгляду об'ємно-планувальних прийомів формоутворення енергоефективних житлових будинків: Ю. А. Табунщикова, С. М. Глікіна [7 - 11; 22 - 24];

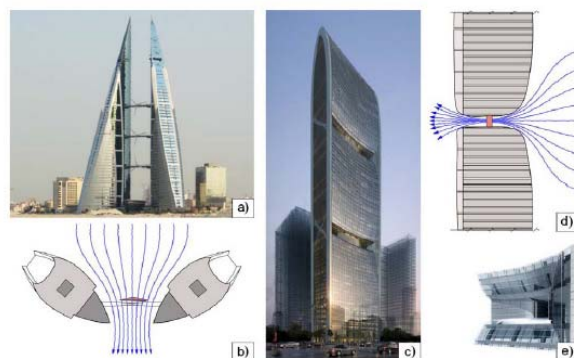


Рис. 1. Формоутворення будівель з використанням енергії вітру: а, б – Бахрейнський всесвітній торговий центр, с, d, e – Pearl River Tower

До 2000-х років в Україні наукова діяльність у галузі альтернативної енергетики практично припинилася. Зараз питаннями синтезу альтернативної енергетики та архітектури займаються: А. М. Баталов, А. А. Магай, В. А. Новіков, Н. А. Саприкіна,

Ю. А. Табунщиков. У числі найбільш значних проектів енергоактивних будівель, що ілюструють особливий підхід архітекторів до формоутворення будівель із використанням засобів альтернативної енергетики. - Бахрейський всесвітній торговий центр (рис. 1) (Шон Кілл), офісна будівля «Pearl River Tower» (рис. 1) (Гордон Гілл, Едріан Сміт), житлова вежа «Strata SE1» у Лондоні.

**Мета дослідження** - розробити науково обґрунтовані принципи архітектурного формоутворення будівель з використанням засобів альтернативної енергетики та визначити специфічні особливості архітектурного проектування таких будівель; виявити позитивні і негативні фактори інтеграції засобів альтернативної енергетики в структуру будівель і оцінити ступінь їх впливу на процес архітектурного формоутворення; розробити теоретичну модель архітектурного формоутворення будівель з використанням засобів альтернативної енергетики; проаналізувати енергоактивні будівлі з позиції архітектурного формоутворення і запропонувати наукову основу їх проектування.

Досліджено житлові, громадські будівлі з інтегрованими в їх структуру засобами альтернативної енергетики, визначено - принципи архітектурного формоутворення будівель. Дослідження обмежується будівлями з інтегрованими в їх структуру активними енергосистемами, що входять у комплекс альтернативної енергетики.

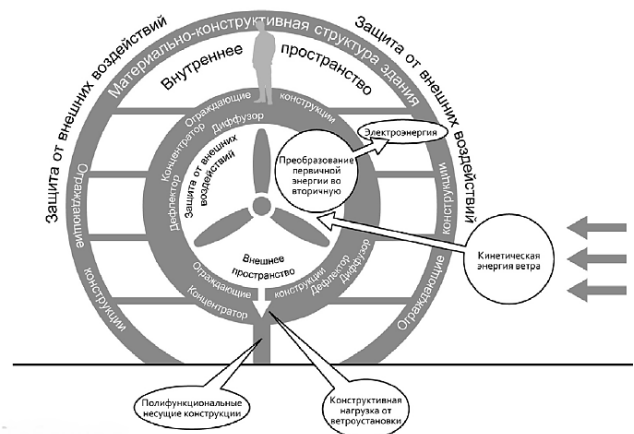
- Досліджено вітчизняний та зарубіжний досвід проектування та зведення енергоактивних будівель із використанням засобів альтернативної енергетики: виявлено тенденції архітектурного формоутворення на основі комп'ютерного аналізу, виконаного за допомогою новітніх систем автоматизованого проектування; виявлено та систематизовано принципи архітектурного формоутворення сучасних енергоактивних будівель як комплексу заходів на основі принципів формоутворення будівель виявлені творчі концепції архітектурного проектування будівель з використанням альтернативних джерел енергії.

**Методи підвищення енергоефективності вітрових установок у структурі бу-**

**дівлі як фактор архітектурного формоутворення.**

Взаємодія будівлі з вітровими потоками розглядається як найважливіший аспект архітектурного проектування. Будівлі, що застосовують технічні засоби, переробляючи кінетичну енергію вітру на теплову та електричну енергію, частково або повністю покриваючи при цьому енергетичні потреби будівлі та компенсуючи ресурси енергомережі, визначаються як вітроенергоактивні будівлі. У разі поліфункціонального використання вітряних енергетичних систем їх окремі елементи можуть об'єднувати в собі комплекс різних функцій: крім прямих технологічних функцій, вони можуть грати роль носійних та огорожувальних конструкцій будівлі (рис. 2).

Поліфункціональність засобів вітроенергетики в структурі будівлі визначається як основний метод підвищення енергоефективності. Поліфункціональність вітряних установок полягатиме в спеціальних властивостях окремих елементів матеріально-конструктивної структури будівлі, що підвищують аеродинамічні характеристики зовнішньої оболонки і, відповідно, енергоефективність вітроприймальних пристроїв.



Принципіальная схема полифункционального использования средств ветроэнергетики в структуре здания

Рис. 2. Принципова схема поліфункціонального використання засобів вітроенергетики в структурі будівлі

Установку вітроприймальних пристроїв слід розміщувати в міжбаштовому просторі з орієнтацією в бік установки технічних і господарських приміщень, сходово-ліфтових вузлів, а також шляхом викорис-

тання в структурі будівлі повітрязабірних отворів із глухимиконцентраторами і з розташованими всередині вітроприймальними пристроями, а також шляхом установки вітроприймальних пристроїв на глухих стінах або над дахом будівлі.

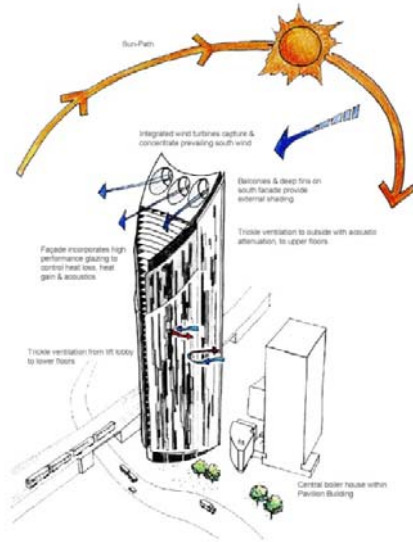


Рис. 3. Житлова вежа Strata SE1 в Лондоні

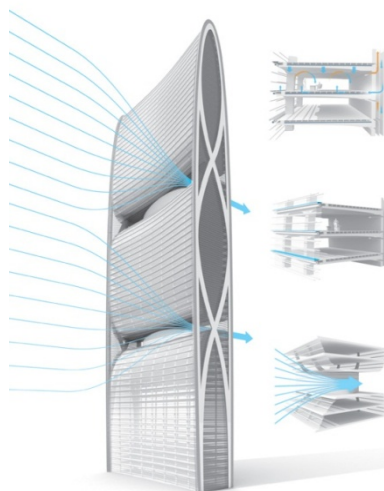


Рис. 4. Енергоефективний хмарочос: Башта Перлинової річки

### Архітектурне формоутворення будівель із використанням засобів вітрової енергетики

Аналізуючи світовий архітектурний досвід ветроенергоактивних будинків, слід зазначити, що використання поліфункціональних вітряних енергосистем полягає в організації різного роду поверхонь зі специфічними концентраторами, дефлекторних і пере-

направляє властивостями. У зв'язку з цим можна виділити три основні типи будівель з поліфункціональними вітряними установками: будівлі з баштовими концентраторами, будівлі з повітрязабірними отворами і будівлі з дефлекторними поверхнями.

Форма	Вплив вітру	Приклад	Опис
S=1000 м <sup>2</sup> P = 126 812 ж	<b>Изображение:</b> Foster and Partners	<b>Приклад:</b> COR building, OPENheim architecture	Кругла форма є найбільш оптимальною, оскільки при одній і тій же площі коло володіє меншим периметром. Кругла форма отримує більше сонячної радіації з південної сторони.
S=1000 м <sup>2</sup> P = 112 349 ж	<b>Изображение:</b> Foster and Partners	<b>Приклад:</b> Башня Мэри-Экс, 30, «Фостер и Партнерс»	
S=1000 м <sup>2</sup> P = 144 781 ж	<b>Изображение:</b> Foster and Partners	<b>Приклад:</b> Duke Energy Center, Арх. Tvcdesign	Форми з округленими кутами є більш сприятливими з точки зору впливу Сонця. при однаковій площі форми з округленими кутами володіють меншим периметром, отже зменшуються тепловтрати з поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій холодну пору року і теплопоступлення в теплу пору року. Широтна орієнтація сприяє сприятливої інсоляції будівель.
S=1000 м <sup>2</sup> P = 133 375 ж	<b>Изображение:</b> Foster and Partners	<b>Приклад:</b> Commerzbank, «Фостер и Партнерс»	
S=1000 м <sup>2</sup> P = 145 699 ж	<b>Изображение:</b> Foster and Partners	<b>Приклад:</b> The City Centre of Huzhou, Арх. MAD	
S=1000 м <sup>2</sup> P = 141 170 ж	<b>Изображение:</b> Foster and Partners	<b>Приклад:</b> AKASYA Client, Арх. Acibadem Architect	
S=3000 м <sup>2</sup> P=200 500 ж	<b>Изображение:</b> Foster and Partners	<b>Приклад:</b> Запропонований варіант орієнтації та форми будівлі	

Рис. 5. Аналіз різних форм будівлі з точки зору максимального використання енергії сонця та вітру. Отож найбільш ефективною з погляду мінімізації тепловтрат є кругла форма. Вона володіє найменшим периметром, і, отже, будівлі круглої в плані форми матимуть найменшу площу зовнішніх огорожувальних конструкцій. Також ця форма сприятлива з точки зору впливу вітрових потоків.

У числі розглянутих ключових проєктів: - житлова вежа «Strata SE1» в Лондоні (рис. 3), хмарочос «Pearl River Tower» в Гуанчжоу (рис. 4), Бахрейнський всесвітній торговий центр в Манамі, житловий комплекс «Ремсгейт Стріт» у Лондоні, будівля гаража «Грінвей Селф Парк» у Чикаго та ін.

Одноцільові вітряні установки, як правило, складаються з вітроприймального ро-

тора, електрогенератора і носійної підсистеми. Їх використання в структурі будівлі відбивається на процесі формоутворення, торкаючись таких складових елементів як силует і контур об'ємно-просторової структури, при цьому не впливаючи на об'ємно-планувальні рішення. З цієї причини вплив одноцільових вітряних установок на процес архітектурного формоутворення (рис. 5) вітроприймальних будівель можна вважати повноцінним.

**Висновок.** Проведено аналіз об'ємно-планувальних рішень сучасних висотних енергоактивних будівель із викорис-

танням енергії вітру. Виявлено закономірності впливу форми та орієнтації будівель на енергоефективність. Зроблено прогноз щодо подальшого розвитку енергоефективних типів будівель. Запропоновано архітектурно-планувальні рішення компоновки форми будівлі для оптимального використання енергії вітру. Домінуючим фактором стане забезпечення мінімальних тепловтрат та перехід на поновлювані джерела енергії в будівлях за рахунок розроблення та використання енергоекономічних об'ємно-планувальних і конструктивних рішень.

### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Foster N. *Works 2* / N. Foster ; ed. D. Jenkins. – [London] : Prestel, 2005. – 566 p.
2. Беляев В. С. Об использовании альтернативных источников энергии / В. С. Беляев, В. Э. Степанова // *Жилищное строительство*. – 2005. – № 10. – С. 15-16.
3. Граник Ю. Г. Объемно-планировочные решения при формировании новых типов энергоэффективных жилых зданий / Ю. Г. Граник, А. А. Магай, В. С. Беляев // *Энергосбережение*. – 2003. – № 4. – С. 78-81.
4. Граник Ю. Г. Конструкции наружных ограждений и инженерные системы в новых типах энергоэффективных жилых зданий / Ю. Г. Граник, А. А. Магай, В. С. Беляев // *Энергосбережение*. – 2003. – № 5. – С. 73-75.
5. Граник Ю. Г. Формирование новых типов энергоэффективных жилых зданий / Ю. Г. Граник, А. А. Магай, В. С. Беляев // *Жилищное строительство*. – 2003. – № 10. – С. 5-8.
6. Куприянов В. Н. Строительная климатология и физика среды / В. Н. Куприянов. – Казань : КГАСУ, 2007. – 114 с.
7. Ливчак В. И. Как же приблизить время расчетов жителей за потребленные ресурсы в объеме того, что потребовали / В. И. Ливчак // *Энергосбережение*. – 2006. – № 2. – С. 46-48.
8. Маклакова Т. Г. Функция, конструкция, композиция в архитектуре / Т. Г. Маклакова. – Москва : АСВ, 2002. – 256 с.
9. Михайлов С. А. Повышение энергоэффективности как ключевой фактор достижения энергетической безопасности в России / С. А. Михайлов, В. М. Васильев, В. Ф. Помогаев // *Энергосбережение*. – 2006. – № 2. – С. 52-55.
10. Нурмиев Г. Н. «Москва – энергоэффективный город» / Г. Н. Нурмиев // *Жилищное строительство*. – 2002. – № 4. – С. 26-28.
11. Оболенский Н. В. Архитектура и солнце / Н. В. Оболенский. – Москва : Стройиздат, 1988. – 207 с.
12. Огородников И. А. Экодом — жилище XXI века / И. А. Огородников // *Архитектура и строительство России*. – 1996. – № 9. – С. 14-15.
13. Сапрыкина Н. А. Альтернативная архитектура с автономным энергообеспечением / Н. А. Сапрыкина // *Известия вузов. Строительство*. – 2000. – № 7/8. – С. 112-116.
14. Сапрыкина Н. А. Биоклиматическая архитектура как ресурс новаторства идей / Н. А. Сапрыкина // *Известия вузов. Строительство*. – 2004. – № 7. – С. 85-91.
15. Сапрыкина Н. А. Жилище нового поколения как интегрированная экологическая система / Н. А. Сапрыкина // *Известия вузов. Строительство*. – 2002. – № 5. – С. 112-115.
16. Сапрыкина Н. А. Потенциальные возможности использования экологических принципов проектирования в архитектуре / Н. А. Сапрыкина // *Известия вузов. Строительство*. – 2003. – № 9. – С. 129-134.
17. Табунщиков Ю. А. Энергоэффективное здание учебного центра / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин // *АВОК : Вентиляция. Отопление. Кондиционирование*. – 2002. – № 5. – С. 10-21.

### REFERENCES

1. Foster N. *Works 2*. [London] : Prestel, 2005, 566 p.
2. Belyaev V.S. and Stepanova V.E. *Ob ispol'zovanii al'ternativnykh istochnikov energii* [About the use of alternative energy sources]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2005, no. 10, pp. 15-16. (in Russian).

3. Granik Yu.G., Magaj A.A. and Belyaev V.S. *Ob'emno-planirovochnye resheniya pri formirovanii novykh tipov energoeffektivnykh zhilykh zdaniy* [Space-planning solutions in the formation of new types of energy-efficient residential buildings]. *Energoberezhenie* [Energy saving]. 2003, no. 4, pp. 78-81. (in Russian).
4. Granik Yu.G., Magaj A.A. and Belyaev V.S. *Konstruktii naruzhnykh ograzhdeniy i inzhenernye sistemy v novykh tipakh energoeffektivnykh zhilykh zdaniy* [The construction of the outer fence and engineering systems for new types of energy-efficient residential buildings]. *Energoberezhenie* [Energy saving]. 2003, no. 5, pp. 73-75. (in Russian).
5. Granik Yu.G., Magaj A.A. and Belyaev V.S. *Formirovanie novykh tipov energoeffektivnykh zhilykh zdaniy* [Formation of new types of energy-efficient residential buildings]. *Zhilischnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2003, no. 10, pp. 5-8. (in Russian).
6. Kupriyanov V.N. *Stroitel'naya klimatologiya i fizika sredy* [Construction climatology and physics of the environment]. Kazan': KGASU, 2007, 114 p. (in Russian).
7. Livchak V.I. *Kak zhe priblizit' vremya raschetov zhiteley za potreblennye resursy v ob'eme togo, chto potrebili* [How to bring the calculation time for the inhabitants of resource consumption in the volume of required]. *Energoberezhenie* [Energy saving]. 2006, no. 2, pp. 46-48. (in Russian).
8. Maklakova T.G. *Funktsiya, konstruktsiya, kompozitsiya v arkhitekture* [Function, structure, composition in architecture]. Moscow: ASV, 2002, 256 p. (in Russian).
9. Mikhaylov S.A., Vasil'ev V.M. and Pomogaev V.F. *Povyshenie energoeffektivnosti kak klyuchevoy faktor dostizheniya energeticheskoy bezopasnosti v Rossii* [Improving of energy efficiency as a key factor of achievement of energy of safety in Russia]. *Energoberezhenie* [Energy saving]. 2006, no. 2, pp. 52-55. (in Russian).
10. Nurmiev G.N. «Moskva – energoeffektivny gorod» ["Moscow is an energy efficient city"]. *Zhilischnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2002, no. 4, pp. 26-28. (in Russian).
11. Obolenskiy N.V. *Arkhitektura i solntse* [Architecture and the sun]. Moscow: Stroyizdat, 1988, 207 p. (in Russian).
12. Ogorodnikov I.A. *Ekodom — zhilische XXI veka* [Eco House is housing of the XXI century]. *Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii* [Architecture and construction of Russia]. 1996, no. 9, pp. 14-15. (in Russian).
13. Saprykina N.A. *Al'ternativnaya arkhitektura s avtonomnym energoobespecheniem* [Alternative architecture with autonomous energy supply]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [Proceedings of HEE. Construction]. 2000, no. 7/8, pp. 112-116. (in Russian).
14. Saprykina N.A. *Bioklimaticheskaya arkhitektura kak resurs novatorstva idey* [Bioclimatic architecture as a resource for innovation ideas]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [Proceedings of HEE. Construction]. 2004, no. 7, pp. 85-91. (in Russian).
15. Saprykina N.A. *Zhilische novogo pokoleniya kak integrirovannaya ekologicheskaya sistema* [Housing of a new generation as an integrated ecological system]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [Proceedings of HEE. Construction]. 2002, no. 5, pp. 112-115. (in Russian).
16. Saprykina N.A. *Potentsial'nye vozmozhnosti ispol'zovaniya ekologicheskikh printsipov proektirovaniya v arkhitekture* [The potential use of environmental design principles in architecture]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [Proceedings of HEE. Construction]. 2003, no. 9, pp. 129-134. (in Russian).
17. Tabunschikov Yu.A., Brodach M.M. and Shilkin N.V. *Energoeffektivnoe zdanie uchebnogo tsentra* [Energy-efficient building of educational center]. *AVOK: Ventilyatsiya. Otoplenie. Konditsionirovanie* [Ventilation. Heating. Conditioning]. 2002, no. 5, pp. 10-21. (in Russian).

Рецензент: к. т. н., проф. О. В. Челноков

Надійшла до редколегії: 12.08.2015 р. Прийнята до друку: 15.10.2015 р.