

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

**№ 5 (218)
травень 2016**

Дніпропетровськ 2016

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 та 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 № 12 від 04.05.2016 р.

Сайт видання <http://visnyk.pgasa.d.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 С. Д. Моїсеєнко
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

№ 5 (218)
май 2016

Днепропетровск 2016

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 № 12 от 04.05.2016 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 С. Д. Моисеенко
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. 5 (218)

May 2016

Dnipropetrovsk 2016

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. Orlovskaya, 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. 12, 04.05.2016
Journal website	http://visnyk.pgasa.dp.ua
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 S. D. Moiseenko
Interpreter L. B. Mykhailova
Editor V. D. Malovyk
Proofreader V. D. Malovyk.

У ЦЬОМУ НОМЕРІ

ЛІДЕР ПЛЮС КОЛЕКТИВ — АКсіОМА УСПіХУ	10
Британ В. Т. РЕКТОР — НОВАТОР	13
ДОСЛІДЖЕННЯ НАУКОВОЇ ШКОЛИ професора В. І. Большакова (до 70-річчя від дня народження)	
Большаков В. І., Савицький М. В. ЕЛЕКТРОПРОВІДНІ НАНОКОМПОЗИТИ ДЛЯ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГЕРМЕТИЗУЮЧИХ ОБОЛОНОК АЕС	16
Большаков В. І., Волчук В. М., Дубров Ю. І. ДО ПИТАННЯ ПРО ПОСТАНОВКУ ЗАДАЧІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ФРАКТАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ	35
Большаков В. І., Лаухін Д. В., Сухомлин Г. Д., Бекетов О. В. ПОЛІГОНІЗАЦІЙНА КОНТРОЛЬОВАНА ПРОКАТКА СТАЛЕЙ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ	40
Большаков В. І., Дерев'янку В. М. МЕХАНІЗМ УТВОРЕННЯ РЕДИСПЕРСІЙНИХ ПОЛІМЕРНИХ ПОРОШКІВ	46
Большаков В. І., Єлісеєва М. О., Неведомський В. А., Щербак С. А. БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ НА ОСНОВІ ШЛАКІВ СИЛІКОМАРГАНЦЮ	54
Большаков В. І., Кравчуновська Т. С., Броневицький С. П. ФАКТОРИ, ЩО ЗДІЙСНЮЮТЬ ВИЗНАЧАЛЬНИЙ ВПЛИВ НА ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ БУДІВНИЦТВА ДОСТУПНОГО ЖИТЛА	61
Большаков В. І., Заяць Є. І. ФОРМУВАННЯ ПРОЕКТНИХ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ЗВЕДЕННЯ ВИСОТНИХ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ	71
Большаков В. І., Сухомлин Г. Д., Сухомлин В. І. КРИСТАЛОГРАФІЧНІ ЗВ'ЯЗКИ ЦЕМЕНТИТ–АУСТЕНІТ–ФЕРИТ ПРИ ДИФУЗІЙНОМУ РОЗПАДІ АУСТЕНІТУ	79

В ЭТОМ НОМЕРЕ

ЛИДЕР ПЛЮС КОЛЛЕКТИВ — АКСИОМА УСПЕХА	10
Британ В. Т. РЕКТОР — НОВАТОР	13
ИССЛЕДОВАНИЯ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ профессора В. И. Большакова (к 70-летию со дня рождения)	
Большаков В. И., Савицкий Н. В. ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ НАНОКОМПОЗИТЫ ДЛЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ ОБОЛОЧЕК АЭС.....	16
Большаков В. И., Волчук В. Н., Дубров Ю. И. К ВОПРОСУ О ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА	35
Большаков В. И., Лаухин Д. В., Сухомлин Г. Д., Бекетов А. В. ПОЛИГОНИЗАЦИОННАЯ КОНТРОЛИРУЕМАЯ ПРОКАТКА СТАЛЕЙ ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	40
Большаков В. И., Деревянко В. Н. МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ РЕДИСПЕРСИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВ	46
Большаков В. И., Елисеева М. А., Неведомский В. А., Щербак С. А. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ШЛАКОВ СИЛИКОМАНГАНА	54
Большаков В. И., Кравчуновская Т. С., Броневицкий С. П. ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОСТУПНОГО ЖИЛЬЯ	61
Большаков В. И., Заяц Е. И. ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ВОЗВЕДЕНИЯ ВЫСОТНЫХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ	71
Большаков В. И., Сухомлин Г. Д., Сухомлин В. И. КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ СВЯЗИ ЦЕМЕНТИТ–АУСТЕНИТ–ФЕРРИТ ПРИ ДИФФУЗИОННОМ РАСПАДЕ АУСТЕНИТА.....	79

IN THIS ISSUE

LEADER PLUS COLLECTIVE — AN AXIOM OF SUCCESS	10
Brytan V. T. RECTOR — INNOVATOR	13
SCIENTIFIC SCHOOL RESEARCH OF PROFESSOR BOLSHAKOV V. I. (on 70 anniversary form the bithday)	
Bolshakov V. I., Savytskyi M. V. ELECTRICALLY CONDUCTIVE OF NANOCOMPOSITES FOR SYSTEMS DIAGNOSTICS OF THE ENVELOPE WALLS TECHNICAL CONDITION OF NPP	16
Bolshakov V. I., Volchuk V. M., Dubrov Yu. I. STATEMENT ON THE ISSUE OF THE PROBLEM IDENTIFICATION OF FRACTAL METAL STRUCTURES	35
Bolshakov V. I., Laukhin D. V., Sukhomlin G. D., Beketov A. V. POLYGONIZING CONTROLLED ROLLING STEELS FOR METAL CONSTRUCTIONS	40
Bolshakov V. I., Derevianko V. N. THE MECHANISM OF FORMATION OF POLYMER POWDERS REDISPERSION	46
Bolshakov V. I., Yelisieieva M. O., Nevedomskiy V. O., Shcherbak S. A. BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS BASED ON SILICON MANGANESE SLAGS	54
Bolshakov V. I., Kravchunovska T. S., Bronevytskyi S. P. FACTORS THAT HAVE A DECISIVE EFFECT ON THE INDICATORS OF EFFICIENCY OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DECISIONS FOR AFFORDABLE HOUSING	61
Bolshakov V. I., Zaiats I. I. THE FORMATION OF DESIGN AND ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DECISIONS OF THE CONSTRUCTION OF HIGH-RISE MULTIPURPOSE COMPLEXES	71
Bolshakov V. I., Sukhomlin G. D., Sukhomlin V. I. CRYSTALLOGRAPHIC RELATIONS OF CEMENTITE–AUSTENITE–FERRITE IN THE DIFFUSIVE DECOMPOSITION OF AUSTENITE.....	79

ЛІДЕР ПЛЮС КОЛЕКТИВ — АКСІОМА УСПІХУ

По-особливому складається доля людини, життєве кредо якої співзвучне висловлюванню В. Г. Короленка: «Треба самому багато знати, щоб навчати інших». Саме ці слова спадають на думку, коли мова йде про доктора технічних наук, професора, ректора Придніпровської державної академії будівництва та архітектури Володимира Івановича Большакова.

Володимир Іванович народився 13 травня 1946 року в м. Дніпропетровськ у родині механіка, Івана Федоровича Большакова, та лікаря, Тетяни Федорівни Стародубової. У 1963 році закінчив середню школу № 23, про педагогічний колектив якої згадує дуже тепло, із вдячністю, поіменно називаючи кожного свого вчителя, щиро говорячи, що його вчителі були «людьми чудовими, з ясною і ніжною душею». Саме вони навчили Володимира Івановича працювати й прищепили неабиякий інтерес до науки і схильність до серйозного наукового пошуку. Тому не випадково, закінчивши в 1969 році з відзнакою Дніпропетровський металургійний інститут й отримавши диплом зі спеціальності «Металознавство та термічна обробка металів», В. І. Большаков уже в 1973 році блискуче захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. З 1969 року він працював на посаді молодшого наукового співробітника Московського інженерно-будівельного інституту, а з 1972-го — на посаді старшого наукового співробітника Дніпропетровського інженерно-будівельного інституту. Протягом 1975–1986 років був доцентом кафедри металевих і дерев'яних конструкцій.

Широка ерудиція, творче володіння теорією і практикою матеріалознавства, наполегливість в обробленні експериментальних даних відкрили Володимирі Івановичу таємницю тонких металевих структур, і в 1985 році він успішно захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, а в 1987-му отримав учене звання професора.

Масштабною є і сфера адміністративної діяльності науковця: у 1987 році його обрано ректором Придніпровської державної академії будівництва та архітектури (тоді — Дніпропетровського інженерно-будівельного інституту). Близько 15 років він очолював кафедру технології металів та кафедру матеріалознавства і обробки металів. Посаду ректора Володимир Іванович Большаков обіймає і нині. Завжди залишаючись людяним, демократичним, легким у спілкуванні, ректор зумів створити і продовжує підтримувати в колективі теплу, майже родинну атмосферу, де всі справи були і є спільними. Кожен член його величезного колективу, якому вдалося усього хоча б раз у житті поспілкуватися з

Володимиром Івановичем, одразу говорить про готовність і бажання керівника кожного вислухати, кожному допомогти, кожного підтримати.

Роботи й обов'язків багато, але для професора В. І. Большакова найважливішою завжди була і залишається наука. Вченому вдалося вписати яскраві сторінки в літопис вітчизняної науки, адже він — основоположник наукової школи прикладного матеріалознавства, що здобула у світовій науці високий авторитет і продовжує з успіхом розвиватися.

Цілеспрямованість, наполегливість, величезна працездатність — основні риси характеру вченого з енциклопедичними знаннями у сфері металургії та технології металів. Він проводить наукові дослідження в галузі фізичного металознавства будівельних сталей підвищеної та високої міцності, нових матеріалів та виробів із високими характеристиками, переробки та використання відходів виробництва в будівництві.

Наукові та прикладні розробки Володимира Івановича Большакова високо оцінені державою. Він заслужений діяч науки та техніки України (1992), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (1999), почесний професор Університету Св. Климента Охридського (Македонія, 1996), Варшавської Політехніки (2002), дійсний член Академії будівництва України, Академії наук вищої школи України, Міжнародної інженерної академії (Москва), Нью-Йоркської Академії наук, Академії інженерних наук України, Товариства чорної металургії США та Канади, Інституту матеріалів (Англія), Європейського товариства математиків та механіків (Німеччина), Товариства мостів та конструкцій (Швейцарія), Інституту гірничих, металургійних та нафтових інженерів (Канада), почесний інженер Росії (2000), Людина року 1995/1996 (Англія), Людина року (Міжнародний біографічний інститут, США, 1997), Людина року в галузі інженерії (Англія, 1998).

Володимир Іванович Большаков – лауреат академічної премії ім. академіка К. Ф. Стародубова (Міжнародна інженерна академія, 1996), премії ім. академіка М. С. Будникова (Академія будівництва України, 2000, 2002), премії ім. академіка Б. Є. Патона (Міжнародна інженерна академія, 2001), нагороди Ярослава Мудрого АН ВШ України (2002). Нагороджений Почесною грамотою Верховної Ради України «За особливі заслуги перед українським народом» (2003) та численними відзнаками національних та міжнародних наукових товариств, кавалер ордена уряду Франції «Пальмова гілка» II ступеня (1994) та ордена «За заслуги» III ступеня (2000).

Володимир Іванович Большаков – автор понад 1 000 наукових праць, серед яких понад 50 монографій, близько 150 патентів та авторських свідоцтв.

Під керівництвом Володимира Івановича захищено 17 кандидатських і 9 докторських дисертацій. Важко оцінити загальну кількість студентів, аспірантів, колег, яких він

проконсультував на сьогоднішній день і які зобов'язані йому своїми науковими перемогами. Учні вдячні йому за те, що мали змогу навчатися у великого науковця і мають змогу з ним співпрацювати.

За відновлення православних церков на території Придніпровського регіону В. І. Большаков неодноразово нагороджений, зокрема, орденом рівноапостольного князя Володимира I ступеня Української Православної Церкви, святого Дмитра Солунського IV ступеня та багато інших.

Друзі й колеги Володимира Івановича відмічають дивовижно широке коло його інтересів. Він любить і знає вітчизняну та зарубіжну літературу, цікавиться живописом, займається нумізматиною, колекціонує поштові марки. За словами самого Володимира Івановича, його філателістична колекція може позмагатися з колекціями королівських домів Європи.

До свого 70-ліття Володимир Іванович Большаков наближається в озброєнні наукового, творчого, життєвого, громадського досвіду, таланту неординарної лекторської майстерності й азартного спілкування з людиною будь-якого віку. Витончене, діккенсівське почуття гумору допомагає залишатися оптимістом у всьому, залишатися Людиною, яка ніколи не здається, не визнає глухих кутів, у будь-яких ситуаціях шукає і знаходить позитивні моменти.

Шановний Володимире Івановичу!

Щиро вітаємо Вас із ювілеєм і бажаємо Вам завжди переживати почуття задоволення, радості і щастя! Нехай Ваш інтерес до науки з роками тільки поглиблюється та все більше поширюється серед молодого покоління Ваших учнів, а працелюбність живиться результатами Ваших численних добрих справ. Нехай міцне здоров'я спонукає до нових наукових звершень, що, як і всі попередні, будуть присвячені людям, колективу нашої академії та рідному місту!

Бажаємо Вам життєвої гармонії та Господнього Благословіння!

Редакційна колегія

РЕКТОР — НОВАТОР

Владимиру Ивановичу Большакову — 70 лет! Более пятидесяти из них знаю юбиляра — как студента — «однокашника» по учебе в Днепропетровском металлургическом институте в группе металловедов-термистов «МТ – 64», активного участника студенческого научного общества (СНО), талантливого молодого ученого, обучавшегося в аспирантуре в Москве, прошедшего научную стажировку в Великобритании, председателя Совета молодых ученых Днепропетровской области... Обо всех этих вехах его творческой жизнедеятельности, а также о первых шагах В. И. Большакова как ректора ДИСИ я имел возможность рассказать в статьях, помещенных в книгах, вышедших к 100-летию со дня рождения академика К. Ф. Стародубова (2004) и к 60-летию В. И. Большакова (2006).

И вот — очередной юбилей моего сотоварища! В последнее десятилетие я имел счастливую возможность тесного общения с ним и ознакомления с его ректорской деятельностью. На мой взгляд, главное в работе В. И. Большакова на этом поприще — новаторство и правильная кадровая политика. Он постоянно следит за передовыми наработками в сфере высшего образования, анализирует, обобщает их и применяет в своей академии. Для реализации этого ректор сумел подобрать, сделать правильную расстановку и организовать эффективную работу руководящего состава академии. Хорошо знаю многих коллег из «большаковской команды»: проректоров, деканов, заведующих кафедрами, руководителей служб. Знаком со многими руководящими кадрами других вузов города. Объективно хочу отметить, что руководящий штаб ПГАСА – во многом лучший среди высших учебных заведений города. А деятельность «триумvirата — В. И. Большаков + А. П. Приходько + О. В. Щербакова» – может служить эталоном в руководстве высшим учебным заведением.

Одной из характерных черт руководящей деятельности ректора В. И. Большакова является его требование к преподавательскому составу и научным работникам академии постоянно заниматься своим научным ростом, подготовкой и защитой диссертаций, написанием и публикацией книг и научных статей. Причем реальность осуществления этого требования он демонстрирует личным примером. В науковедческих работах можно встретить сведения о том, что за период научной деятельности кандидаты наук, доценты, как правило, могут иметь до 200–300 публикаций, доктора наук, профессора — до 500–600. А вот число авторских и соавторских публикаций В. И. Большакова перевалило за 1 270!

Став ректором ДИСИ, Владимир Иванович буквально заставил многих сотрудников академии активизировать научную работу и защитить докторские и кандидатские диссертации. Он лично подготовил 13 докторов и 25 кандидатов технических наук. За период его ректорства в академии подготовлены 81 доктор и 404 кандидата наук.

Поражает широта и многогранность жизненных, в частности, научных интересов и познаний ректора. Он не только всегда интересуется новыми публикациями в области технических наук, но и знает новейшие издания по экономике, управлению производством,

истории и политике, является знатоком новинок художественной литературы. Зачастую новинки литературы приобретает лично и за «свой кошт». Ученый располагает огромной личной библиотекой, коллекциями редчайших марок, открыток, монет...

Присущая Владимиру Ивановичу черта – это благоговейное отношение к истории вообще: истории страны, родного края, семьи, родного вуза, специальности... Очевидно, эти качества привиты ему генетически, воспитаны в нем родителями и такими выдающимися представителями родни как академик К. Ф. Стародубов, всемирно известный ученый в области металловедения и термообработки металлов, и А.Ф. Стародубов, талантливейший краевед, перу которого принадлежат многие труды по истории Екатеринославщины.

Поэтому не случайна тяга ректора к освещению истории ДИСИ – ПГАСА (вышло в свет уже несколько книг по этой тематике), отдельных кафедр и специальностей, увековечению памяти видных ученых (например, «Стародубовские чтения»), созданию галерей портретов корифеев науки, основателей научных школ академии. Владимир Иванович считает, что каждое письменное освещение того или иного научного или научно-популярного события должно сопровождаться иллюстрациями, фотографиями, подтверждающими его достоверность и документальность. Поэтому в книгах, изданных им непосредственно или при его участии, значительное место занимают иллюстрации.

В руководстве ПГАСА ректор особое внимание уделяет международным связям академии. Известно, что этот участок деятельности высших учебных заведений г. Днепропетровска активизировался после отмены в 1989 г. статуса «закрытого города», а после вступления высшей школы Украины в Болонскую систему (2005) международное сотрудничество днепропетровских вузов с зарубежными учебными заведениями, НИИ и предприятиями стало приоритетным направлением их деятельности. ПГАСА относится к числу наиболее активных коллективов по интеграции в европейское и мировое образовательное и научное пространство. В частности, она стала членом Великой хартии университетов, входит в число семи международных ассоциаций строителей и инженерных вузов. Ярким примером указанной интеграции стало участие ПГАСА и НМетАУ в совместных европейских проектах по программе «TEMPUS» и «FP 7». Особенно плодотворно развиваются образовательное и научное сотрудничество академии с коллегами из Франции и Германии. Например, в 2014 – 2015 учебном году в высших учебных заведениях и научных организациях Франции по взаимнообмену побывало 200 студентов и сотрудников ПГАСА, а в Германии — 35.

Огромную подвижническую работу в области высшего образования и вузовской науки В. И. Большаков проводит как руководитель Приднепровского центра Международной инженерной академии (ПЦ МИА).

Центр создан в 1992 году. Первым его председателем стал Станислав Николаевич Конюхов – видный ученый и конструктор ракетно-космической техники, возглавлявший КБ «Южное». В. И. Большаков был заместителем председателя, а с 2011 года возглавляет ПЦ МИА. В Центре функционируют следующие секции: архитектурная, аэрокосмическая,

металлургическая, строительная, медицинская, секция истории науки и техники, секция подготовки инженерно-технических и научно-педагогических кадров. В составе центра 162 ученых, из них: 37 действительных членов (академиков) МИА; 47 — членов-корреспондентов; 78 — академических советников. Главная цель ПЦ МИА — содействие укреплению инженерного и научного потенциала страны, повышение эффективности его использования для роста экономики на базе ускорения научно-технического прогресса, улучшения благосостояния и развития социальной жизни людей.

В секциях Центра работают известные ученые региона, общественные деятели, руководители предприятий и ведущих компаний. В Приднепровском центре работают больше 20 академиков и членов-корреспондентов отраслевых академий.

В. И. Большаков относится к тем руководителям, которые используют все возможности и законные пути повышения благосостояния своих сотрудников. Даже при значительном сокращении финансирования высшей школы в последние годы в ПГАСА сохраняются максимальные зарплаты научно-педагогических работников и обслуживающего персонала, выплачиваются премии, доплаты за участие в госбюджетных и хоздоговорных НИР. С 2001 года ректорат и профсоюзный комитет академии ежегодно в июне – августе организует оздоровление студентов и сотрудников на основе договора с Приморской базой отдыха «Надежда» на Азовском море. Показательна для ПГАСА есть выплата зарплат сотрудникам и стипендии студентам без задержек, день в день. И еще одна благородная черта В. И. Большакова — это забота о семьях ушедших из жизни видных ученых и сотрудников академии. Он вникает в нужды этих семей, помогает в решении возникающих трудностей и проблем.

Таков Владимир Иванович Большаков — Человек, Ученый, Ректор-новатор!

В. Т. Британ, заведующий кафедрой
истории и украиноведения НМетАУ,
заслуженный работник образования
Украины

ДОСЛІДЖЕННЯ НАУКОВОЇ ШКОЛИ професора В. І. Большакова (до 70-річчя від дня народження)

УДК 621.311.25:681.518.5-022.532

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ НАНОКОМПОЗИТЫ ДЛЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ ОБОЛОЧЕК АЭС

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,
САВИЦКИЙ Н. В.^{2*}, д. т. н., проф.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

Аннотация. Постановка проблемы. Герметичные железобетонные конструкции оболочечного типа локализуемой системы безопасности, предназначенные для удержания и локализации радиоактивных продуктов распада в случае особых природных или техногенных воздействий на энергоблок, являются одним из наиболее важных компонентов, обеспечивающих безопасность атомной электростанции. Для разработки системы мониторинга технического состояния защитных оболочек АЭС перспективным направлением может быть использование электропроводящих нанокomпозитов, как первичных элементов информации. **Цель статьи** — рассмотрение теоретических предпосылок и опыта создания электропроводящих нанокomпозитов для систем диагностики локализуемых систем безопасности АЭС. **Выводы.** Перспективным направлением для разработки систем диагностики локализуемых систем безопасности АЭС является использование электропроводящих нанокomпозитов (электропроводящие бетоны — бетэлы, штукатурные растворы, лакокрасочные покрытия). Механизм создания электропроводящих нанокomпозитов заключается в использовании в виде наполнителя металлических и углеродсодержащих наночастиц. В качестве связующего в нанокomпозитах представляется перспективным использование как минеральных вяжущих (цемент), так и жидкого стекла.

Ключевые слова: безопасность АЭС, системы диагностики, электропроводящие нанокomпозиты, углеродсодержащие наночастицы

ЕЛЕКТРОПРОВІДНІ НАНОКОМПОЗИТИ ДЛЯ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГЕРМЕТИЗУЮЧИХ ОБОЛОНОК АЕС

БОЛЬШАКОВ В. І.¹, д. т. н., проф.,
САВИЦЬКИЙ М. В.^{2*}, д. т. н., проф.

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

Аногация. Постановка проблеми. Герметичні залізобетонні конструкції оболонкового типу локалізуючої системи безпеки, що призначені для утримання і локалізації радіоактивних продуктів розпаду у випадку особливих природних або техногенних впливів на енергоблок – це одні з найважливіших компонентів, які забезпечують безпеку атомної електростанції. Для розробки системи моніторингу технічного стану захисних оболонок АЕС перспективним напрямом може бути використання електропровідних нанокomпозитів як первинних елементів інформації. **Мета статті** — розгляд теоретичних питань і досвіду створення електропровідних нанокomпозитів для систем діагностики локалізуючих систем безпеки АЕС. **Висновки.** Перспективним напрямом для розробки систем діагностики безпеки АЕС є використання електропровідних нанокomпозитів (електропровідні бетони – бетели, штукатурні розчини, лакофарбові покриття). Механізм створення електропровідних нанокomпозитів полягає у використанні як наповнювача металевих та вуглецевмісні

наночастинок. В якості в'язучого у нанокompозитах вбачається перспективним використання як мінеральних в'язучих (цементу), так і рідкого скла.

Ключові слова: безпека АЕС, системи діагностики, електропровідні нанокompозити, вуглецьмісткі наночастишки

ELECTRICALLY CONDUCTIVE OF NANOCOMPOSITES FOR SYSTEMS DIAGNOSTICS OF THE ENVELOPE WALLS TECHNICAL CONDITION OF NPP

BOLSHAKOV V. I.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
SAVYTSKIY M. V.², *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

¹ Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, Tel. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Department of Reinforced-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnepropetrovsk 49005, Ukraine, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

Summary. Raising of the problem. Enveloped concrete wall type structures of localizing safety systems for restraint and localization of radioactive decay products or in the case of special natural or man-made impacts on the power unit is one of the most important components to ensure the safety of nuclear power. The promising direction for the development of the NPP technical system monitoring is to use conductive nanocomposites as primary elements of information. **The purpose of the article** is to review the theoretical background and experience in the conductive nanocomposites creating for diagnostics of localizing nuclear safety systems. **Conclusions.** A promising area for the development of diagnostic systems of localizing nuclear safety systems is the use of electrically conductive nanocomposites (conductive concrete - bethels, plasters, paint coatings). A mechanism for conductive nanocomposites creating is the use of the filler metal and carbon nanoparticles. As binders is promising to use nanocomposites of the mineral binders (cement) and water glass.

Keywords: safety of NPPs, diagnostic systems, electrically conductive nanocomposites, carbon nanoparticles

Постановка проблеми.

Атомні електростанції, на яких установлені енергоблоки типу ВВЭР-1000 с железобетонной локализующей системой

безопасности (ЛСБ), являются ключевым компонентом энергетической индустрии Украины (рис.1–3) [1–8].



Рис. 1. Енергогенеруючі станції в Україні.



Рис. 2. Действующие АЭС Украины



Рис. 3. Общий вид на Запорожскую АЭС с энергоблоками ВВЭР-1000

По состоянию на 2014 год выработка электроэнергии украинскими электростанциями составила около 200 млрд кВт·ч, из них АЭС — 50% от общенационального производства электроэнергии (табл. 1).

Строительные конструкции АЭС являются одним из наиболее важных компонентов, обеспечивающих безопасность атомной электростанции. Отдельным предметом рассмотрения являются конструкции локализирующей системы

безопасности АЭС — железобетонные герметичные конструкции оболочечного типа, предназначенные для удержания и локализации радиоактивных продуктов распада в случае особых природных или техногенных воздействий на энергоблок.

Таблиця 1

Структура енергоресурсов України, %

Потребление первичных энергоресурсов		Тип ЭС	Установленные мощности	Производство в 2014 году
Природный газ	16	ТЭС и ТЭЦ	57,5	45
Уголь и торф	8			
Нефть, нефтепродукты	3			
Атомная энергия	64	АЭС	29,6	50
Другие виды энергоресурсов	0,5	ГЭС и ГАЭС	12,4	4
		Солнечные ЭС	0,3	0,5
		Ветряные ЭС	0,2	0,5

Герметичная оболочка является локализирующей системой безопасности и предназначена для предотвращения выхода радиоактивных веществ при тяжёлых авариях с разрывом крупных трубопроводов первого контура и удержания в зоне локализации аварии среды с высоким давлением и температурой. Она имеет цилиндрическую форму и состоит из предварительно

напряжённого железобетона толщиной 1,2 метра.

В настоящее время как в мировой, так и в национальной атомной энергетической отрасли становится актуальной проблема продления срока действия лицензий на эксплуатацию энергоблоков, так как существующие энергоблоки подходят к концу 40-летнего срока эксплуатации (табл. 2).

Таблиця 2

Общие данные об энергоблоках типа ВВЭР-1000, построенных в Украине

Энергоблок	Мощность (МВт электрических)		Ввод в эксплуатацию	Срок службы
	фактическая	номинальная		
ХАЭС-1-ВВЭР-1000/В320	950	1000	31.12.1987	28
ХАЭС-2-ВВЭР-1000/В320	950	1000	07.08.2004	11
ХАЭС-3-ВВЭР-1000/В320	950	1000	01.01.2015	
ХАЭС-4-ВВЭР-1000/В320	950	1000	01.01.2016	
РоАЭС-1-ВВЭР-440/В213	381	420	31.12.1980	35
РоАЭС-2-ВВЭР-440/В213	376	415	30.12.1981	34
РоАЭС-3-ВВЭР-1000	950	1000	21.12.1986	29
РоАЭС-4-ВВЭР-1000/В320	950	1000	10.10.2004	11
ЮУАЭС-1-ВВЭР-1000/В302	950	1000	31.12.1982	33
ЮУАЭС-2-ВВЭР-1000/В302	950	1000	06.01.1985	30
ЮУАЭС-3-ВВЭР-1000/В320	950	1000	20.09.1989	26
ЗАЭС-1-ВВЭР-1000/В320	950	1000	10.12.1984	31
ЗАЭС-2-ВВЭР-1000/В320	950	1000	22.07.1985	30
ЗАЭС-3-ВВЭР-1000/В320	950	1000	10.12.1986	29
ЗАЭС-4-ВВЭР-1000/В320	950	1000	18.12.1987	28
ЗАЭС-5/В320	950	1000	14.08.1989	26
ЗАЭС-6	950	1000	19.10.1995	20

В связи с этим актуальной является разработка систем мониторинга

технического состояния конструкций АЭС и в частности, ЛСБ.

Обеспечение безопасности энергоблока в целом осуществляется за счет так называемой системы глубоко эшелонированной защиты, основанной на физических на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду.

Существует пять уровней глубокоэшелонированной защиты энергоблока. Железобетонные конструкции энергоблока первой категории ответственности относятся к третьему уровню глубокоэшелонированной защиты.

Таблица 3

Учитываемые сочетания воздействий на защитные конструкции АЭС

Режимы	Нагрузки и воздействия											
	Предпусковые	Постоянные и длительные	Технические, соответствующие			Сейсмические		Климатические		Связанные с деятельностью человека		
			условия нормальной эксплуатации	нарушению условий нормальной эксплуатации	проектная авария	проектное землетрясение	максимальное расчетное землетрясение	характерные	экстремальные	удар падающего самолета	ударная воздушная волна	
Предпусковые	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Эксплуатационные длительные кратковременные	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-
Особые	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-
	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-
	-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+
	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	+

Нормативные документы, регулирующие проектирование, расчет и эксплуатацию строительных конструкций АЭС I категории ответственности, условно делятся на несколько групп:

- Стандарты МАГАТЭ, регулирующие проектирование конструкций;
- Стандарты МАГАТЭ, регулирующие мониторинг безопасности при эксплуатации АЭС;
- Доклады МАГАТЭ, которые не имеют статуса действующего нормативного документа и служат информационными источниками;
- Национальные стандарты стран-участниц МАГАТЭ;

Государственные и отраслевые стандарты, действующие в Украине (рис. 4): в зависимости от конкретного элемента конструкций АЭС, важных для безопасности, а также в зависимости от влияния внешней среды, требуется соблюдение нормативов проектирования и рекомендаций по конструированию, специфических для данного типа элементов и в конкретных условиях внешних воздействий (табл. 3). Существующая иерархия нормативных документов представлена на рисунке 4.



Рис. 4 Система нормативной документации, регламентирующей расчет, проектирование и контроль состояния (мониторинг) конструкций АЭС

Защитная оболочка АЭС с ВВЭР 1000 (рис. 5) имеет форму цилиндра сопряженного с пологим куполом и днищем.

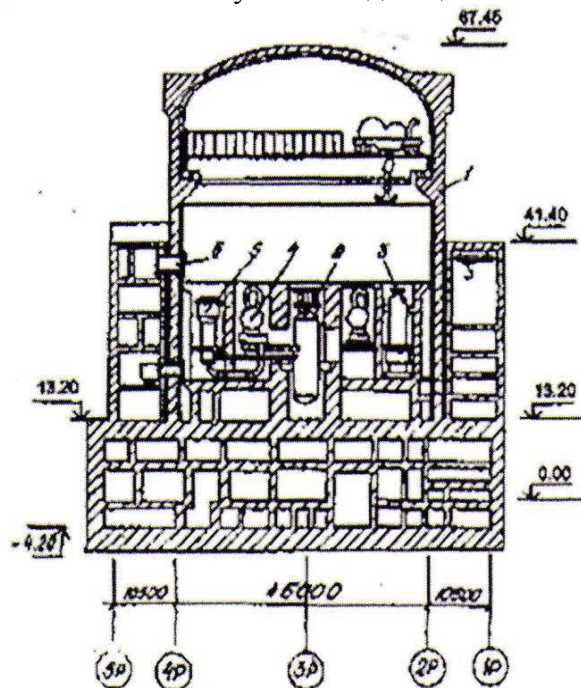


Рис. 5. Реакторное отделение энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 (серийный проект):

- 1–железобетонная преднапряженная оболочка;
- 2–реактор; 3–компенсатор объема; 4–парогенератор;
- 5–главный циркулярный насос; 6–шлюз.

Под днищем расположен цокольный этаж. Высота оболочки и диаметр ее ци-

линдрической части равны соответственно 68 и 45 м, толщина стенки цилиндра и купола составляет 1200 мм и 1000 мм. Оболочка выполнена из монолитного бетона, с внутренней стороны облицована сталью толщиной 6 мм. В месте сопряжения цилиндра с куполом имеется кольцо, в котором с помощью анкерного устройства закрепляется напрягаемая арматура. Купол предварительно напряжен двумя группами арматурных пучков, расположенных в плане под углом 90° одна к другой. Днище армировано ненапрягаемой арматурой. Цилиндрическая часть оболочки напрягается арматурой, идущей спирально в двух направлениях навстречу одна другой под углом 35° к горизонтальной плоскости (рис. 6).

Как уже указывалось, одним из основных требований, предъявляемых к защитной оболочке, является недопущение разгерметизации и выхода радиоактивных материалов в окружающую среду.

С целью разработки системы мониторинга технического состояния защитных оболочек АЭС нами предложено использование электропроводящих нанокompозитов

как первичных элементов информации. Для этого на бетонную поверхность защитной оболочки наносятся полосы из электропроводящих нанокompозитов. По изменению электропроводности таких элементов возможно выявить места локализации повреждений для разработки системы мероприятий по восстановлению работоспособного состояния.

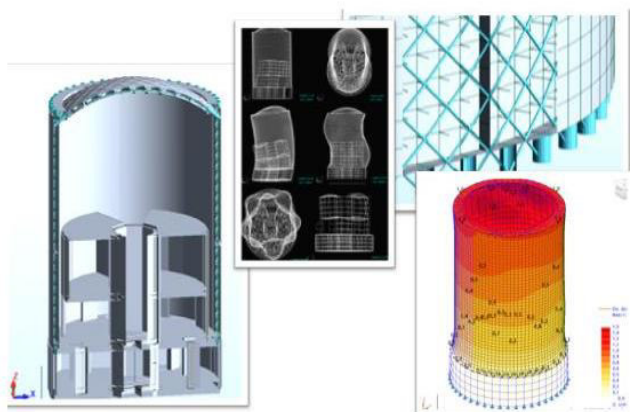


Рис. 6. Расположение канатов преднапряженной арматуры

Теоретические предпосылки создания электропроводящих нанокompозитов.

Изучение электрических свойств композитов (бетонов (бетэлов), растворов, лакокрасочных покрытий) и создание новых типов электропроводящих композитов идет в двух направлениях [9–18]:

- создание электропроводящих композитов с малым удельным электрическим сопротивлением и стабильностью электрических параметров во времени при изменяющихся условиях эксплуатации;
- изучение электрических свойств существующих композитов и создание композитов с улучшенными электроизоляционными свойствами: высоким удельным электрическим сопротивлением, малым значением диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости, высокой электрической прочностью.

Механизм электропроводности в композитных электропроводящих материалах достаточно сложен. Согласно результатам

проведенных исследований перенос заряда может осуществляться двумя способами:

- 1). непосредственный контакт частиц наполнителя-проводника;
- 2). эмиссия электронов наполнителя через зазоры между частицами (туннельный эффект).

Механизм проводимости через, например, диэлектрики может носить как ионный, так и электронный характер. Величиной проводимости самого связующего можно пренебречь, так как она на несколько порядков меньше проводимости компонентов и проводимости за счет туннельного эффекта. Перспективным вопросом является поиск связующего с относительно высоким показателем электропроводности, что будет иметь эффект на общую электропроводность композита.

Анализ результатов исследований показывает, что изменение концентрации электропроводящего наполнителя прямо пропорционально изменению электропроводности покрытий. Кроме того, на электропроводность покрытий оказывает влияние степень дисперсности наполнителя, наличие оксидных пленок, температура и другие факторы.

В исследованиях бетэлов (электропроводящих бетонов) установлено, что при увеличении концентрации углерода с 250 до 500 кг/м³ удельное электрическое сопротивление бетэла падает более чем в 10 раз.

Электропроводящие компоненты (наполнитель)

Электропроводящие наполнители можно объединить в две основные группы:

- металлические;
- углеродистые.

Данные об удельном электрическом сопротивлении металлов, использующихся для электропроводящих материалов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Металл	Железо	Медь	Цинк	Алюминий	Серебро	Никель	Титан	Сталь
$\rho, \text{ Ом м}^2/\text{м}$	0,013	0,0175	0,059	0,0271	0,016	0,087	0,5562–0,7837	0,14

В последние годы предложено применение проводящих нестехиометрических соединений титана типа фаз внедрения TiC_x , TiN_x , TiC_xN_y ($0,5 < x, x+j < 1,0$) (карбидов, нитридов, карбонитридов либо других бинарных или более сложных соединений указанного элемента и различных неметаллов). Эти перспективные наполнители отличаются высокой стойкостью к факторам внешней среды с высокой электро- и теплопроводностью, превышающей характеристики самого металла, и высокой активностью в химических реакциях на поверхности вследствие нестехиометричности. Однако пока данные материалы являются достаточно дефицитными и дорогостоящими.

К углеродистым наполнителям относятся сажи, графиты, технический углерод.

Эти наполнители дешевые, доступные в любом регионе, обладают очень низким удельным электрическим сопротивлением. Углерод, как и металл, обладает электронной проводимостью. Однако эти материалы понижают прочность композитов. Так при объемном содержании сажи выше 30% происходит полная потеря механической прочности бетона.

В качестве наполнителя электропроводного бетона, силикатного кирпича, кладочных и штукатурных растворов, красок, асфальтов предлагается использовать тонкомолотый минерал шунгит. Однако данный материал достаточно редко встречается и является более дорогостоящим, нежели сажа и графит. И все же шунгит достаточно перспективный в регионах, где он широко распространен.

Связующие компоненты

Связующие электропроводящих композитов можно разделить на следующие группы:

- полимерные;
- жидкостекольные;
- минеральные.

В настоящее время существуют полимеры с различными электрофизическими характеристиками. Современные полимеры могут быть как диэлектриками (полу-

проводниками), так и проводниками и даже сверхпроводниками.

Обычные полимеры, такие как полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид, являются диэлектриками с высоким удельным электрическим сопротивлением $1 \cdot 10^{16}$ Ом·м.

Для использования полимеров в качестве связующего вещества для электропроводящих материалов с 1950-х годов к ним начали добавлять порошки металлов, сажу, графит, различные волокна.

В 1970-е на основе полиацетилена удалось создать полимер со свойствами полупроводника с удельным электрическим сопротивлением 10^{11} – 10^7 Ом·м. В 1963 году группе австралийских ученых удалось достигнуть удельного электрического сопротивления для йодо-легированного полипиррола $0,3$ Ом·м.

Было предложено множество других полимеров, имеющих внутреннюю проводимость, в частности, полианилин и политиофен электрической проводимостью от 10^{-8} до 10^{-6} См/м. Кроме того, хорошо изученные классы органических проводящих полимеров представляют полианилин, полисульфид-р-фенилена, также полипара-фенилен-винилен (ППВ).

Одними из самых важных критериев, предъявляемых к связующему электропроводящих композитов, являются доступность и низкая стоимость. Поэтому более целесообразно использовать недорогое связующее -диэлектрик в композиции с электропроводящим компонентом.

По литературным данным, в качестве полимерного связующего в электропроводящих композитах (в частности, покрытиях) используются эпоксидные, акрил-амидные, фенолформальдегидные, карбамидо-формальдегидные смолы, полиэферы, полиуретаны, полиолефины, кремнийорганические полимеры, поливинилацетат, сополимеры винилацетата и винилхлорида и т. д.

Для создания подогревательных элементов в машиностроении предложены саморегулируемые электропроводящие композиционные материалы на основе по-

лиолефинов. В качестве электропроводящих компонентов использованы мелкодисперсный кокс и высокодисперсный графит (соответственно, 15 об.% – 0,5 об. %). Данные составы обладают высокой стабильностью удельного электрического сопротивления.

Наиболее доступными и недорогими связующими из перечисленных являются карбамидоформальдегидные и акриламидные смолы.

В качестве альтернативы перечисленным связующим используется натриевое и калиевое жидкое стекло. Жидкое стекло (натриевое и калиевое) представляет собой коллоидный водный раствор силиката натрия или калия $K_2O \cdot mSiO_2$, где t — модуль жидкого стекла, K — натрий (Na) или калий (K). Жидкое стекло должно отвечать требованиям натриевого ГОСТ -13078-81, калиевого — ГОСТ -18978-71.

Для получения составов высокой прочности натриевое жидкое стекло отверждается кремнийфтористым натрием $Na_2 SiF_6$, кремнефтористоводородной кислотой $H_2 SiF_6$, портландцементом, феррохромовым шлаком, углекислым газом и др. Недостатком натриевого жидкого стекла является его низкая водостойкость, а также существенное высолообразование на его поверхности. К положительным качествам данного материала можно отнести его достаточно низкую стоимость и большую распространенность.

В отличие от натриевого, калиевое жидкое стекло является водостойким материалом, на поверхности отсутствуют высолы, и используется оно как связующее в силикатных красках.

Разработано оборудование для изучения кинетики отверждения жидкостекольных композиций углекислым газом (рис. 7).

Электропроводящие бетоны (бетэлы)

Обычный бетон в определенных температурно-влажностных условиях обладает способностью проводить электрический

ток, однако это его свойство не стабильное. Кроме того, в большинстве случаев электропроводность обычного бетона рассматривается как вредная, так как с ней связана электрокоррозия арматуры в железобетонных конструкциях под воздействием блуждающих токов.

При сезонных колебаниях температуры и влажности электрическое сопротивление обычного бетона меняется на 6–8 порядков. Объясняется это тем, что он обладает ионным характером проводимости. При насыщении бетона водой происходит переход легкорастворимых компонентов цементного камня в жидкую фазу и он становится полупроводником с низким удельным электрическим сопротивлением. Высушивание же бетона приводит к росту его сопротивления.

Предлагались различные способы улучшения электрических свойств бетона. Попытки использовать проводящие свойства бетона во влажном состоянии имели ограниченный успех. Объясняется это тем, что влажный бетон, с одной стороны, не выдерживал импульсов тока, с другой — при низких температурах, когда вода, находящаяся в бетоне, замерзала, он становился плохим проводником.

Характерная особенность большинства работ заключалась в том, что бетон рассматривался с электрической точки зрения как нечто единое без достаточного учета его химического и фазового состава, микро- и макроструктуры, особенностей физико-химических процессов, приводящих к образованию его как материала.

В основу ведущихся исследований положен иной принцип получения токопроводящих бетонов. Для электропроводящих бетонов это, во-первых, отыскание токопроводящей добавки, изменяющей свойства бетона в сторону повышения его электропроводности, и, во-вторых, получение на ее основе композиционного материала — специального бетона с качествами проводника электрического тока.



Рис. 7. Оборудование для исследования процесса кинетики отверждения жидкостекольных композиций углекислым газом

В результате этих работ был создан электропроводящий бетон, названный бетэлом, обладающий, наряду с конструктивными свойствами, способностью проводить электрический ток.

На основании теоретических и экспериментальных исследований было установлено, что изменение в нужном направлении фазового состава и структуры цементного камня и бетона, а также использование токопроводящих добавок является одним из основных путей получения бетонов с заданными электрическими свойствами. Этого следует добиваться не только за счет выбора исходного вяжущего, заполнителя и добавок, но и создания оптимального с точки зрения электрических свойств режима твердения. В ранее выполненных работах первое учитывалось недостаточно, а второе не принималось во внимание вообще.

Связка, используемая в бетоне, может быть самой различной и в зависимости от ее вида различают следующие типы бето-

на: полимербетон, полимерцементный бетон, бетон на цементном вяжущем, бетон на жидкостекольном вяжущем. Если проанализировать их с точки зрения электрической, конструктивной и экономической эффективности, то можно сказать, что наиболее подходящим для электрических целей является бетон на цементном вяжущем, так как он имеет, помимо высоких конструктивных и технико-экономических показателей, достаточно хорошую коррозийную стойкость и дугостойкость.

Электропроводящие бетоны относятся к числу дешевых и доступных материалов.

Их стоимость лишь в некоторых случаях будет незначительно превышать стоимость обычных строительных бетонов. Это объясняется тем, что при изготовлении электропроводящих бетонов и конструкций на их основе используются распространенные составляющие — вяжущие, добавки, заполнители, а также в основном освоенные промышленностью технологические процессы.

Получение бетэла основано на введении в его состав заполнителей, обладающих электронным характером электропроводности (так называемой проводящей фазы) и превращении его в неметаллический проводник композиционного типа. Цементный камень, как обладающий ионным характером электропроводности, должен быть почти полностью исключен из общей проводимости композиции, а его сопротивление должно быть на 6–10 порядков выше, чем у всей системы. Этого можно добиться как за счет подбора исходного состава цемента, так и путем изменения в нужном направлении фазового состава цементного камня, что достигается с помощью оптимального, с точки зрения получения необходимых электрических свойств, режима твердения вяжущего.

Изделия на основе портландцемента в интервале температур от -50 до $+200$ °C обладают хорошей температуростойкостью. В качестве недостатка следует отметить некоторую его пористость, что вызывает необходимость в ряде случаев защиты конструкций из бетэла от увлажнения при наружной установке.

Многолетний отечественный и зарубежный опыт получения и применения композиционных неметаллических проводников позволяет сформулировать основные требования к проводящей фазе, которые распространяются и на бетэл.

Проводящая фаза бетэла должна обладать необходимой электропроводностью, достаточной механической прочностью, температуростойкостью и способностью не окисляться при локальных перегревах композиции. Она не должна вступать в химическое взаимодействие с вяжущим, приводящее к новым качественным состояниям и изменению электропроводности системы; коэффициент ее линейного расширения должен быть близким по величине к коэффициенту линейного расширения вяжущего или несколько меньшим. В противном случае увеличение давления в контактах цепочек проводящей фазы при изменении температуры приведет к значительному увеличению прово-

димости и, следовательно, температурной нестабильности композиции или может даже вызвать разрушение изделия. Кроме того, ее собственная электропроводность должна иметь минимальную зависимость от температуры.

Наиболее полно этим требованиям отвечают разновидности специальных саж, которые и нашли широкое применение для получения композиционных проводников на основе керамики, жидкого стекла, полимеров и каучука. Сажевый компонент, в частности наряду с железными опилками, составляет основу американского электропроводного бетона. В отличие от него, в качестве проводящей фазы бетэла приняты углеродистые химпродукты, полученные в результате специальной высокотемпературной обработки природных углей и нефти (некоторые коксы, электродная масса ЭУ и др.).

Сегодня в качестве электропроводящего компонента в бетэлах используются сажа, железные опилки, размолотые продукты высокотемпературной обработки углей и нефти (некоторые коксы, электродная масса ЭУ и др.). Удельное сопротивление таких бетонов находится в пределах 102–106 Ом·м.

Канадские ученые-исследователи разработали новый тип бетона, который обладает хорошей электропроводностью. Принцип, лежащий в его основе, – это добавление в бетон электропроводящих материалов, таких как углеродное волокно, графит, дешевые побочные продукты производства стали, позволяющих создать непрерывную сеть из проводящего материала. Данный принцип позволяет увеличить проводимость бетона на несколько порядков при добавлении определенного количества проводящего наполнителя — пороговое содержание. Дальнейшее увеличение его содержания даст незначительное увеличение проводимости. Исследования показали, что оптимальным вариантом является небольшое превышение порогового значения, которое позволит добиться высокой проводимости

и механической прочности, а также хороших условий перемешивания.

Наиболее распространенным типом проводящей добавки в композиционных проводниках являются различные углеродистые продукты — сажи, графиты и др. Однако возможность сочетания цементной связки с углеродистым наполнителем до последнего времени оставалась сомнительной. Последние работы показали, что при определенных условиях такое сочетание возможно, и полученный композиционный материал, наряду со стабильной электропроводностью, регулируемой в широких пределах, обладает достаточно высокой механической прочностью.

Основное отличие бетэла от известных композиций в том, что используется не специальная сажа, а размолотые продукты высокотемпературной обработки углей (кокс пековый и др.), а в качестве вяжущего — цемент.

На основе анализа зависимости удельного сопротивления углерода от температуры приготовления установлено, что наиболее приемлемыми для бетэла являются добавки поликристаллического углерода (углеродистые добавки) с температурой приготовления от 1000 до 2000 °С, что является наиболее характерным для коксов, используемых при получении всевозможных электродных масс. Для изготовления бетэла используется, в основном, кокс пековый, представляющий собой поликристаллический углерод, образующийся при высокотемпературной (1300 °С) обработке продуктов, получаемых при коксовании.

Цементное вяжущее является вполне подходящим видом связки, так как его удельное электрическое сопротивление на 6-8 порядков выше, чем у углерода, и коэффициент линейного расширения близок к коэффициенту линейного расширения добавки. Требования к интервалу допустимых рабочих температур определяются температуростойкостью цементного камня (+150 °С), так как углерод допускает нагрев до 550 °С.

Дальнейшие работы по изучению бетэла шли по пути исследования электрических свойств композиции в целом. Различие в коэффициентах линейного расширения углерода и цементной связки дало возможность предположить, что при нагреве удельное сопротивление бетэла будет уменьшаться, что полностью подтвердилось экспериментально. Хотя подобные изменения электрических параметров нежелательны, следует отметить, что их абсолютная величина не выходит за пределы допустимых для непроволочных сопротивлений значений.

Для исследования влияния добавки углерода на электрические свойства бетона была изготовлена и испытана серия образцов. Изготовление мелкозернистой бетэловой смеси производилось вручную, крупнозернистой — в лабораторной бетономешалке.

Исследовалось объемное электрическое сопротивление и предел прочности при сжатии. Электрические испытания образцов проводились в воздушно-сухом состоянии на прессе с установкой на подкладку из станиоля и резины для обеспечения контакта по всему торцу образца. Замер омического сопротивления образца производился при усилии в 1 г с помощью моста постоянного тока. Удельное объемное сопротивление определялось по кубиковому призмному омическому сопротивлению. Образцы из мелкозернистого бетэла после замера омического сопротивления шести образцов — кубов и призмы — испытывались на сжатие в соответствии с требованиями ГОСТ 5802–51. Образцы из крупнозернистого бетэла испытывались на прочность в соответствии с требованиями ГОСТ 10180–62 как для обычного тяжелого бетона.

Результаты испытаний показали, что величина удельного объемного сопротивления зависит только от содержания углерода. Анализ приведенных зависимостей позволяет сделать очень важные выводы о том, что при определенном содержании углерода в смеси (420–450 кг/м) происходит качественный скачок в свойствах

бетэла, при котором ρ меняется почти на порядок величины, а затем уже изменяется мало. По-видимому, в этот момент в бетоне создаются непрерывные устойчивые цепочки из углерода. Об этом же говорит и небольшой разброс данных испытаний для бетэла с указанным содержанием углерода.

По имеющимся экспериментальным данным сделана попытка изучить вопрос стабильности электрического сопротивления плит в условиях эксплуатации их под нагрузкой, т. е. вопрос старения (старением считается увеличение омического сопротивления). Для анализа взяты однослойные плиты. За время опыта в течение двух месяцев во всех случаях оказалось, что сопротивление плит не только не увеличивается, как ожидалось, а уменьшается, и довольно значительно, в среднем на 5–7 %. Это говорит о том, что получение плит–панелей со стабильными во времени свойствами возможно, и их сопротивление в условиях длительной эксплуатации будет сохраняться.

Повторные испытания проводились на образцах–цилиндрах диаметром 60 мм с металлическими фланцами. Эти испытания проводились по более жесткому режиму (перепад температур) и показали увеличение величины сопротивления в течение 25 циклов до 6–10 %. Однако полностью отнести это к старению материала нельзя, так как, по-видимому, из-за больших колебаний температуры значительно растет контактное сопротивление под фланцем.

Проведенные исследования показали, что бетэл имеет стабильные электрические характеристики и изменение его сопротивления в процессе эксплуатации не превышает 5 %.

В состав бетэла в зависимости от вида и назначения конструкций вводят мелкий и крупный заполнители. Таким образом, бетэл представляет собой разновидность бетона с микрозаполнителем. Основными параметрами бетэла, как это вытекает из его назначения, являются электропроводность и механическая прочность.

Удельное электрическое сопротивление композиционного проводящего мате-

риала будет в первую очередь зависеть от объемной концентрации проводящей фазы, ее гранулометрии или удельной поверхности, удельного электрического сопротивления самого углерода и от количества воды в бетэловой смеси. При работе с одним видом технического углерода и определенной его гранулометрией решение задачи сводится при заданном конечном удельном сопротивлении бетэла к нахождению необходимой объемной концентрации углерода и оптимального количества воды.

Проводящие частицы и волокна добавляются к обычным компонентам бетона при его затворении. Существует два способа производства проводящего бетона. Первый – это традиционное смешивание, который позволяет добиться относительно невысокого удельного сопротивления и высокой прочности на сжатие. Второй — это суспензионная инфильтрация. Этот способ позволяет добиться более высокой прочности на сжатие и изгиб, а также более низкого удельного сопротивления.

Проводящий бетон можно использовать в качестве конструкционного материала и сочетать его с обычным бетоном. Традиционный способ смешивания может быть применен, если содержание обычных компонентов бетона не будет ниже 70 %.

Концентрация проводящей фазы в бетэле будет зависеть от соотношения углеродцемент, коэффициента раздвижки к раздвижке зерен мелкого заполнителя и его пустотности.

Наиболее сложно выявить зависимость удельного электрического сопротивления бетэла от воды затворения. Цемент и углерод, входящие в состав смеси — это сильнодисперсные гидрофильные материалы и для придания смеси необходимой подвижности. Требуется ввести в нее значительное количество воды. При этом подвижность бетэловой смеси не является функцией водоцементного отношения, так как при изменении соотношения углеродцемент для сохранения той же подвижности необходимо менять В/Ц в значительных пределах. Вместе с тем при

превышении определенного предела содержания воды в смеси наблюдается рост электрического сопротивления при неизменном количестве углерода.

Прочностные характеристики бетэла, по-видимому, будут зависеть от тех же факторов, что и для обычного бетона, т. е. от марки цемента и водоцементного отношения. Однако эта зависимость в связи с наличием в системе значительного количества тонкодисперсного углерода будет более сложной и ее необходимо исследовать в дальнейшем.

Проектирование состава бетэловой смеси наиболее рационально вести, пользуясь методом абсолютных объемов. Содержание воды в смеси необходимо определять в каждом отдельном случае экспериментально, добиваясь заданной величины удобоукладываемости.

Приготовление бетэловой смеси осложнено по сравнению с обычными бетонными и растворными тем обстоятельством, что в нее вводится большое количество тонкодисперсной проводящей фазы, которая должна быть максимально равномерно распределена по всему ее объему. В противном случае бетэл, полученный из этой смеси, будет недостаточно однороден, что может резко снизить его эксплуатационные характеристики или вообще сделать невозможным его применение в качестве электропроводящего материала.

Наиболее целесообразно приготовление бетэловой смеси вести при помощи агрегатов принудительного действия в следующей последовательности. Отдозированные компоненты загружаются в мешалку, где перемешиваются всухую не менее 3 мин. Затем туда наливается вода и смешение продолжается еще не менее 3 мин. Смесь из растворомешалки выгружается и транспортируется к месту укладки. После освобождения растворомешалки от бетэловой смеси необходимо произвести ее тщательную очистку и промывку. Уплотнение смеси в формах производится на стандартных виброплощадках или с помощью поверхностных или глубинных

вибраторов. Контрольные испытания прочности бетэла проводятся на образцах стандартного для бетона размера по существующим ГОСТ. Режим твердения изделий подбирается в зависимости от имеющихся возможностей и технических условий на изготовление, при этом оптимальной является гидротермальная обработка при повышенном давлении.

Технология изготовления изделий из бетэла с мелким наполнителем производится в следующей последовательности:

- обработка проводящего компонента – дробление, вибропомол, отсев крупной фракции и весовая дозировка;
- обработка и весовая дозировка кварцевого песка;
- весовая дозировка цемента;
- сухое перемешивание трех исходных компонентов;
- весовая дозировка воды;
- влажное перемешивание смеси;
- укладка (формовка) бетэловой смеси и ее уплотнение;
- выдержка изделий перед тепловой обработкой;
- гидротермальная обработка;
- распалубка и доводка изделий;
- контроль качества изделий и их складирование.

Технология изготовления изделий из бетэла принципиально ничем не отличается от технологии изготовления конструкций из обычного бетона, дополняясь лишь технологической ниткой переработки и дозирования технического углерода, а также, в случае необходимости, для ряда изделий — операциями по их специальной доводке (нанесение защитных покрытий, установка электродов и др.). Следует также отметить, что при изготовлении изделий из бетэла резко возрастают требования к культуре производства и к точности выполнения отдельных операций, в частности, к дозировке воды, так как при ее нарушении может значительно измениться удельное электрическое сопротивление и изделие нужного качества не будет получено.

Предварительные исследования прочностных и электрических свойств бетэла показали, что он может быть получен с большим диапазоном электрических и механических свойств.

Физико-механические и электротехнические свойства бетэлов приведены в таблице 5.

Таблица 5

Физико-механические и электротехнические свойства бетэлов

Удельное электрическое сопротивление, Ом·см	10—104
Прочность на сжатие, кг/см ²	85—250
Прочность на растяжение, г·с/см ²	15—30
Объемный вес, г/см ³	1,8—2,2
Допустимая плотность тока, а см ²	10—0,1
Рабочий диапазон температуры, °С	-60—100
Рабочая температура перегрева, °С	120
Допустимая скорость перегрева, °С/сек	200
Удельная разрушающая энергия при однократном включении токовой нагрузки, в·сек см ⁵	230—300
Удельный объем, необходимый для рассеивания энергии 1 М в!-сек при пере! реве на 1СС	0,57
Удельная теплоемкость, ккал 1-1 рад	0,22

Электропроводящие покрытия

Известны составы электропроводящих клеев и шпаклевок, связующим веществом для которых является калиевое жидкое стекло. Недостатком указанных составов является особенность технологии изготовления, которая заключается в отверждении состава с помощью выдержки его при высокой температуре до 300 °С. Такая технология не позволяет изготавливать электропроводящие покрытия зданий и сооружений.

Известна антикоррозионная цинксилкатная краска В-ЖС-41, разработанная ЛНПО Пигмент. Она представлена в виде трех компонентов: основа (жидкое калиевое стекло), пигментная смесь (алюминиевый порошок и каолин) и порошок цинка. Назначение краски — создание протекторной защиты металлических сооружений. К недостаткам данного состава следует отнести наличие трёх компонентов, что усложняет технологию приготовления краски. Кроме того, при создании краски не стояла задача достижения низких величин удельного электрического сопротивления и возможности нанесения данной краски на бетон.

Для получения прочных пленок в силикатных красках на основе калиевого жидкого стекла используются пигменты и

наполнители, которые по активности разделяются на следующие группы: высокоактивные, активные, пониженной активности, пассивные, нейтральные.

Высокоактивные пигменты, такие как известь-пушенка, окись магния, сурик свинцовый, белила свинцовые, не могут использоваться в силикатных красках, так как они способствуют быстрому свертыванию стекла и концентрированию образовавшегося геля вокруг комочков.

В дальнейших экспериментальных исследованиях целесообразно применять следующие наполнители и пигменты: активные — белила цинковые, окись цинка, цинковая пыль, алюминиевая пудра, доломит, маршалит пониженной активности — мел, железистые окисные пигменты, тальк.

Согласно проведенным исследованиям, наиболее атмосферостойкими являются покрытия, содержащие в своей пигментной смеси наполнители и пигменты, как активные, так и пониженной активности, при примерном соотношении 1:5.

Для получения покрытий с удельным сопротивлением 0,02 Ом·м необходимо не менее коллоидного графита С-1-40-50 об. %, канального технического углерода ДГ-100 или смеси этих наполнителей. Однако графит и сажа относятся к группе пигментов и наполнителей

нейтральных по отношению к калиевому жидкому стеклу. Они не способны вступать в реакцию с жидким стеклом или сорбировать на своей поверхности молекулы силикогеля, поэтому в их присутствии внутренняя структура покрытия становится менее устойчивой к действию атмосферных факторов, в то же время в качестве черного пигмента в силикатных красках в некоторых работах рекомендуется использовать сажу.

Таким образом, существуют неоднозначные мнения по поводу возможности применения углеродсодержащих пигментов в силикатных составах, поэтому счита-

ем целесообразным проведение дальнейших экспериментальных исследований с углеродсодержащими пигментами в смеси с другими активными пигментами и наполнителями для получения покрытий повышенной электропроводности и высокой долговечности в атмосферных условиях.

Для оптимизации состава электропроводящей краски был проведен анализ патентов с покрытиями на основе полимеров с содержанием углеродных электропроводящих компонентов (табл. 6).

Таблица 6

Электропроводящие краски, их составы и удельное электрическое сопротивление

№	Состав электропроводящей краски	$R, \text{ Ом}\cdot\text{м}$
1	Эпоксидное связующее 8 – 20, углеродсодержащий наполнитель 11 – 39, отвердитель органический растворитель остальное. Углеродсодержащий наполнитель представляет собой смесь графита и сажи в соотношении 0,1:1,0.	$10^{-1} - 10^{-2}$
2	Связующее – бутадиен-стирольный термоэластопласт ДСТ-30-100 мас.ч., смесь печной сажи ПМЭ-80 и электропроводной сажи «Хезакарб ЭЦ» с удельной адсорбционной поверхностью 900 м ² /г в соотношении 1:(1-2) 26 – 30 мас.ч. и органический растворитель 600 – 700 мас.ч.	$0,63 \cdot 10^{-4} - 3,0 \cdot 10^{-4}$
3	Связующее – хлорсульфированный полиэтилен 6 – 9, углеродсодержащий наполнитель 0,6 – 11, отвердитель аминного типа 4,5 – 7, и органический растворитель – остальное. Углеродсодержащий наполнитель – сажа и графит с массовым отношением 0,05 – 0,1.	10 - 1
4	Синтетическое полимерное связующее (политетрафторэтилен или политрифторэтилен) 6 – 9, углеродсодержащий наполнитель 0,6 – 11 органический растворитель остальное. Углеродсодержащий наполнитель - сажа и графит с массовым отношением 0,05 – 0,1.	1 – 0,1
5	Синтетическое полимерное связующее (полиметилфенилсилоксаны) 7 – 17, углеродсодержащий наполнитель 0,7 – 16,1, отвердитель 2,5 – 5,5, органический растворитель остальное. Углеродсодержащий наполнитель – смесь графита с сажей при массовом отношении сажи к графиту 0,05 – 0,1.	$10^{-1} - 10^{-2}$
6	Пленкообразующий сополимер 13,0 – 15,0 порошок графита 15,5 – 20, порошок технического углерода (сажа) 7,5 – 10, порошок карбонильного железа 3,0 – 4,0, органический растворитель – остальное.	$1 \cdot 10^{-2}$
7	Силикатная краска В-ЖС-41. Калиевое жидкое стекло плотностью 1,31 – 1,35 г/см ³ , цинковый порошок марок ПЦ-1 и ПЦ-2, пиксотропная добавка – каолиналиюминиевая пудра ПАП-1 или ПАП-2, хромовый ангидрид, техническая ортофосфорная кислота и вода	–

При подборе составов покрытий следует также руководствоваться технологическими требованиями к составам: толщина влажной и сухой пленки единичного слоя покрытия, консистенция (до удобоносимости), время высыхания (полимеризация), расход и др.

Для дальнейших исследований приняты составы с типами связующего — натриево жидкое стекло, наполнитель углеродсодержащий (графит, сажа, техни-

ческий углерод), металлический (алюминиевая пудра, цинковый порошок), в качестве отвердителя жидкого стекла рассматривается углекислый газ.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

1. АЭС с ВВЭР-1000 являются ключевым элементом энергетической безопасности Украины. В связи с достижением плановых сроков службы отдельных блоков АЭС в Украине остро стоит вопрос о

разработке системы мониторинга технического состояния локализующих систем безопасности (ЛСБ), к которым относится предварительно напряженная оболочка главного корпуса АЭС.

2. Перспективным направлением для разработки систем диагностики технического состояния строительных конструкций АЭС представляется использование электропроводящих нанокompозитов как элементов первичных датчиков информации.

3. В качестве материалов для элементов системы диагностики могут использоваться электропроводящие бетоны (бетэлы), штукатурные шпаклевочные растворы, лакокрасочные покрытия.

4. Механизм создания электропроводящих нанокompозитов заключается в ис-

пользовании в виде наполнителя электропроводящих металлических и углеродсодержащих наночастиц.

5. В качестве связующего материала для электропроводящих нанокompозитов представляется перспективным использование как минеральных вяжущих (цемент), так и жидкого стекла с отверждением последнего углекислым газом.

6. Разработано оборудование для изучения кинетики отверждения жидкостекольных композиций углекислым газом.

7. Требуется проведение дальнейших исследований для создания электропроводящих композитов с оптимальными физико-механическими, электротехническими, эксплуатационными и экономическими характеристиками.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства и эксплуатации локализующих систем безопасности атомных станций : ПНАЭ Г-10-021-90 / Госпроматомнадзор СССР ; исп. : В. В. Антошин, С. С. Антонов, Б. Ф. Демидов, С. Г. Дронов, М. Л. Клоницкий, Н. Д. Курносова, Д. Л. Фролов, Н. Н. Шишканов, С. С. Якобсон. – Москва 1991. – Режим доступа: <http://document.ua/pravila-ustroistva-i-yekspluatcii-lokalizuyushih-sistem-bez-nor5286.html>. – (Правила и нормы в атомной энергетике).
2. Пергаменщик Б. К. Возведение специальных защитных конструкций АЭС / Б. К. Пергаменщик, В. И. Теличенко, Р. Р. Темишев; под общ. ред. В. И. Теличенко. – Москва : Изд. дом МЭИ, 2011. – 240 с.
3. Nuclear containments: state-of-art report / Fédération Internationale de la Précontrainte, Fédération internationale du béton // Nuclear containments. – Stuttgart, 2001. – Bulletin № 13. – 130 p.
4. Nelson R. Manufactured Meltdown / R. Nelson. // Popular Science. – 1988. – vol. 232, № 1. – P. 66–67.
5. Коробов Л. А. Железобетонные пространственные конструкции атомных и тепловых электростанций / Л. А. Коробов, О. К. Назарьев, В. Я. Павилайнен. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 328 с.
6. Демидов А. П. Защитные оболочки реакторных отделений зарубежных АЭС / А. П. Демидов, В. А. Савченко // Энергетическое строительство за рубежом. – 1989 – № 5. – С. 2–7.
7. Строительство атомных электростанций. / под ред. В. Б. Дубровского ; В. Б. Дубровский, А. П. Кириллов, В. С. Конвиз, П. А. Лавданский, Ф. С. Нешумов, Ю. В. Пономарев, А. Б. Пуховский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 248 с.
8. Безопасность российских АЭС // Росатом. – Режим доступа: http://www.rosatom.ru/aboutcorporation/nuclearindustry/npp_safety.
9. Использование бетона в качестве электропроводного материала // Бетон. – Режим доступа: <http://betony.ru/betel/ispolzovanie-betona-v-kachestve-elektroprovodnogo-materiala.php>.
10. Корнеев В. И. Растворимое и жидкое стекло / В. И. Корнеев, В. В. Данилов. – Санкт-Петербург : Стройиздат, 1996. – 216 с. // Справочник химика 21. Химия и химическая технология. – Режим доступа: <http://chem21.info/page/169042004212115240017068169076168051171155043145/>.
11. Субботкин М. И. Кислотоупорные бетоны и растворы на основе жидкого стекла / Субботкин М. И., Курицына Ю. С. ; под ред. М. А. Матвеева. – Москва : Стройиздат, 1967. – 135 с.
12. Бичевой П. П. Влияние природы жидкого стекла на свойства силикатных мастик / Бичевой П. П., Чухниловский Н. А. // Монтажные и специальные строительные работы. Сер. 4 : Противокоррозионные работы в строительстве : науч.-техн. реф. сб. / Центр. Бюро науч.-техн. информ. Минмонтажспецстроя СССР. – Москва, 1980. – Вып. 7. – С. 13–14.
13. Путляев И. Е. Пути улучшения структуры бетонов на основе жидких силикатных стекол / Путляев И. Е., Отрепьев В. А. // Бетон и железобетон. – 1978. – № 4. – С. 43–44.
14. Технология изделий из электропроводного бетона // Бетон. – Режим доступа: <http://betony.ru/betel/tehnologiya-izdeliy.php>.
15. Электропроводимый бетон // Бетон. – Режим доступа: <http://betony.ru/betel/>.

16. Электрические свойства бетэла // Бетон. – Режим доступа: <http://betony.ru/betel/elektricheskie-svoyastva-betela.php>.
17. Плагин Ал. А. Электропроводящие покрытия для защиты от электрокоррозии: разработка составов / Ал. А. Плагин // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія : Хімія, хімічна технологія та екологія : зб. наук. пр. – Харків, 2013. – Вип. 64(1037). – С. 120–128.
18. Супрун О. Ю. Жидкостекольные композиции для защиты строительных конструкций от коррозионных воздействий / О. Ю. Супрун // Коммунальное хозяйство городов. Серия : Технические науки и архитектура : науч.-техн. сб. // Харьков. нац. акад. гор. хоз-ва ; отв. ред. Л. Н. Шутенко. – Киев, 2005. – Вып. 63. – С. 108–116. – Режим доступа: <http://eprints.kname.edu.ua/2143/1/%D0%9E.%D0%AE.%D0%A1%D0%A3%D0%9F%D0%A0%D0%A3%D0%9D.pdf>.

REFERENCES

1. Antoshin V.V., Antonov S.S., Demidov B.F., Dronov S.G., Klonitskij M.L., Kurnosova N.D., Frolov D.L., Shishkanov N.N. and Yakobson S.S. *Pravila ustrojstva i ekspluatatsii lokalizuyushchikh sistem bezopasnosti atomnykh stantsij: PNAE G-10-021-90* [Rules for arrangement and operation of nuclear power plants localizing safety systems: Rules and regulations in the nuclear industry G-10-021-90]. Moskva: Gospromatomnadzor SSSR, 1991. Available at: <http://document.ua/pravila-ustroistva-i-yekspluatatsii-lokalizuyushih-sistem-bez-nor5286.html>. (in Russian).
2. Pergamenshchik B.K., Telichenko V. I., Temishev R.R. and Telichenko V.I. *Vozvedenie spetsial'nykh zashchitnykh konstruksij AES* [Construction of special protective structures of the nuclear power plant]. Moskva: Izd. dom MEI, 2011, 240 p. (in Russian).
3. *Nuclear containments: state-of-art report*. Fédération Internationale de la Précontrainte, Fédération internationale du béton. Nuclear containments. Stuttgart, 2001, no. 13, 130 p.
4. Nelson R. *Manufactured Meltdown*. Popular Science. 1988, vol. 232, no. 1, pp. 66–67.
5. Korobov L.A., Nazarev O.K. and Pavilajnen V.Ya. *Zhelezobetonnye prostranstvennyye konstruksii atomnykh i teplovykh elektrostantsij* [Concrete spatial design of nuclear and thermal power stations]. Moskva: Energoizdat, 1981, 328 p. (in Russian).
6. Demidov A.P. and Savchenko V.A. *Zashchitnye obolochki reaktornykh otdelenij zarubezhnykh AES* [Reactor compartments protective shells of foreign NPP]. *Energeticheskoe stroitel'stvo za rubezhom* [Energy construction abroad]. 1989, no. 5, pp. 2–7. (in Russian).
7. Dubrovskij V.B., Kirillov A.P., Konviz V.S., Lavdanskij P.A., Neshumov F.S., Ponomarev Yu.V. and Puhovskij A.B. *Stroitel'stvo atomnykh elektrostantsij* [Construction of the atom nuclear plants]. Moskva: Energoatomizdat, 1987, 248 p. (in Russian).
8. *Bezopasnost' rossijskikh AES* [Safety of Russian NPP]. *Rosatom* [Russian atom]. Available at: http://www.rosatom.ru/aboutcorporation/nuclearindustry/npp_safety. (in Russian).
9. *Ispol'zovanie betona v kachestve elektroprovodnogo materiala* [The concrete use as a conductive material]. *Beton* [Concrete]. Available at: <http://betony.ru/betel/ispolzovanie-betona-v-kachestve-elektroprovodnogo-materiala.php> (in Russian).
10. Korneev V.I. and Danilov V.V. *Rastvorimoe i zhidkoe steklo* [Soluble and water glass]. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Chemistry and Chemical Engineering]. Sankt-Peterburg: Strojizdat, 1996, 216 p. Available at: <http://chem21.info/page/169042004212115240017068169076168051171155043145/> (in Russian).
11. Subbotkin M.I., Kuritsyna Yu.S. and Matveev M.A. *Kislotoupornye betony i rastvory na osnove zhidkogo stekla* [The acid-resistant concrete and solutions on the basis of liquid glass]. Moskva: Strojizdat, 1967, 135 p. (in Russian).
12. Bichevoj P.P. and Chukhnilovskij N.A. *Vlijanie prirody zhidkogo stekla na svojstva silikatnykh mastik* [Influence of the liquid glass nature on the properties of silicate cements]. *Montazhnye i spetsial'nye stroitel'nye raboty. Ser. 4: Protivokorroziionnye raboty v stroitel'stve* [Installation and special construction works. Series 4: Anticorrosive works in construction]. *Centr. Byuro nauch.-tekhn. inform. Minmontazhspetsstroya SSSR* [Centre. Bureau of the scientific and engineering information of Minmontazhspetsstroya USSR]. Moskva, 1980, iss. 7, pp. 13–14. (in Russian).
13. Putlyayev I.E. and Otrepev V.A. *Puti uluchsheniya struktury betonov na osnove zhidkikh silikatnykh stekol* [Ways to improve concrete structures based on liquid silicate glasses]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 1978, no. 4, pp. 43–44. (in Russian).
14. *Tekhnologiya izdelij iz elektroprovodnogo betona* [The product technology of electrically conductive concrete]. *Beton* [Concrete]. Available at: <http://betony.ru/betel/tehnologiya-izdeliy.php>.
15. *Elektroprovodimyj beton* [Energy conductive concrete]. *Beton* [Concrete]. Available at:– Rezhim dostupa: <http://betony.ru/betel/>. (in Russian).
16. *Elektricheskie svojstva betela* [Electrical properties of betel]. *Beton* [Concrete]. Available at: <http://betony.ru/betel/elektricheskie-svoyastva-betela.php> (in Russian).
17. Плагин Ал. А. *Электропроводящие покрытия для защиты от электрокоррозии: разработка составов* [The

electrically conductive coating for protection against galvanic corrosion: development of formulations]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universitetu "KhPI". Seriya : Khimiia, khimichna tekhnolohiia ta ekologiia* [Bulletin of the State Technical University "KhPI". Series: Chemistry, chemical technology and ecology]. Kharkiv, 2013, iss. 64(1037), pp. 120–128. (in Russian).

18. Suprun O.Yu. and Shutenko L.N. *Zhidkostekol'nye kompozitsii dlya zashchity stroitel'nykh konstruksij ot korrozionnykh vozdeystvij* [Liquid glassed compositions for building structures protection against the corrosive effects]. *Kommunal'noe khozyajstvo gorodov. Seriya: Tekhnicheskie nauki i arhitektura* [Cities utilities. Series: Engineering and Architecture]. *Khar'kov. nats. akad. gor. khoz-va* [Kharkov State Academy of Urban Economy]. Kiev, 2005, iss. 63, pp. 108–116. Available at: <http://eprints.kname.edu.ua/2143/1/%D0%9E.%D0%AE.%D0%A1%D0%A3%D0%9F%D0%A0%D0%A3%D0%9D.pdf> (in Russian).

Рецензент: д-р. т. н., проф. Сєдін В. Л.

Надійшла до редколегії: 10.02.2016 р. Прийнята до друку: 24.02.2016 р.

УДК 669.017:519.21

К ВОПРОСУ О ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,ВОЛЧУК В. Н.^{2*}, д. т. н., доц.,ДУБРОВ Ю. И.³, д. т. н., проф.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

³ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

Аннотация. Для исследования структуры металлов и сплавов и ее влияния на их свойства широко используются традиционные методы макро- и микроанализа, рентгеновского, спектрального, термического, а также дефектоскопии (рентгеновской, магнитной, ультразвуковой). Они имеют собственный порог чувствительности, зачастую узкую направленность и применяются непосредственно в зависимости от назначения объекта исследования (трубы, прокатные валки, металлоконструкции и т. д.). Существующие на сегодняшний день математические модели прогноза качественных характеристик металлических изделий, основанные только на анализе статистических данных, не дают физико-химической интерпретации процессов, которые происходят при формировании структуры или которые могли бы однозначно учитывать влияние химического состава и других параметров технологии. Поэтому результаты прогноза не всегда могут удовлетворять предъявляемым требованиям. С целью получения приемлемых результатов прогноза характеристик качества производимого изделия разрабатываемая методика должна включать в себя использование как классических, так и современных методов оценки структуры. Так, для установления взаимосвязи между механическими свойствами и элементами структуры валкового чугуна планируется использование теории фракталов и мультифракталов. Предлагаемая методика является наиболее приемлемой для количественной оценки большинства реальных структур, аппроксимация которых целочисленными фигурами Евклида вносит определенную погрешность и поэтому не всегда приемлема в практических задачах современного материаловедения. В этой связи предполагается проведение специальных экспериментов, анализ которых позволяет выработать качественную оценку механических свойств исследуемых марок стали и чугуна. В результате анализа технологии производства стали и чугуна и научно-исследовательских работ, направленных на решение проблемы оценки механических свойств, сформулирована постановка задачи оперативного прогноза этих свойств и определены основные пути ее решения.

Ключевые слова: база данных, фрактал, сталь, чугун, прогноз, мультифрактал

ДО ПИТАННЯ ПРО ПОСТАНОВКУ ЗАВДАННЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ФРАКТАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,ВОЛЧУК В. М.^{2*}, д. т. н., доц.,ДУБРОВ Ю. И.³, д. т. н., проф.

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

³ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

Анотація. Для дослідження структури металів і сплавів та її впливу на їх властивості широко застосовуються традиційні методи макро- і мікроаналізу, рентгенівського, спектрального, термічного, а також дефектоскопії (рентгенівської, магнітної, ультразвукової). Вони мають власний поріг чутливості, часто вузьку спрямованість і застосовуються безпосередньо залежно від призначення об'єкта дослідження (труби, прокатні валки, металлоконструкції тощо). Існуючі на сьогоднішній день математичні моделі прогнозу якісних

характеристик металевих виробів, засновані тільки на аналізі статистичних даних, не дають фізико-хімічної інтерпретації процесів, які відбуваються під час формування структури або які могли б однозначно враховувати вплив хімічного складу та інших параметрів технології. Тому результати прогнозу не завжди можуть задовольняти вимогам, що пред'являються. З метою отримання прийнятних результатів прогнозу характеристик якості виробів методика, яка розробляється, повинна включати в себе застосування як класичних, так і сучасних методів оцінки структури. Так, для встановлення взаємозв'язку між механічними властивостями та елементами структури валкового чавуну планується застосування теорії фракталів та мультифракталів. Запропонована методика є найприйнятніша для кількісної оцінки більшості реальних структур, апроксимація яких цілочисельними фігурами Евкліда вносить певну похибку і тому не завжди прийнятна в практичних завданнях сучасного матеріалознавства. У зв'язку з цим передбачається проведення спеціальних експериментів, аналіз яких дозволяє отримати якісну оцінку механічних властивостей досліджуваних марок сталі і чавуну. В результаті аналізу технології виробництва сталі та чавуну і науково-дослідницьких робіт, спрямованих на вирішення проблеми оцінки механічних властивостей, сформульовано постановку завдання оперативного прогнозу цих властивостей і визначено основні шляхи її розв'язання.

Ключові слова: база даних, фрактал, сталь, чавун, прогноз, мультифрактал

STATEMENT ON THE ISSUE OF THE PROBLEM IDENTIFICATION OF FRACTAL METAL STRUCTURES

BOL'SHAKOV V. I.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
VOLCHUK V. M.^{2*}, *Dr. Sc. (Tech.), As. Prof.*,
DUBROV Yu. I.³, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

¹ Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

³ Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

Summary. To study the structure of metals and alloys and its influence on their properties are widely used traditional methods of macro- and microanalysis, X-ray, spectral, thermal and inspection (X-ray, magnetic, ultrasonic). They have their own threshold, often narrowly focused and applied directly depending on the purpose of the research object (pipe, forming rolls, metal, etc.). Currently existing mathematical models of forecasting the qualitative characteristics of metal products based only on an analysis of statistical data do not provide physical-chemical interpretation of the processes that occur during the formation of the structure or who could definitely take into account the effect of the chemical composition and other parameters of the technology. Therefore, the forecast results can not always meet the requirements. In order to obtain acceptable quality results produced by the product specifications developed by the forecast methodology should include the use of both classical and modern methods of structure evaluation. So, to determine the relationship between mechanical properties and structure elements of cast iron roll is planned to use the theory of fractals and multifractal. The proposed method is the most appropriate to quantify the majority of real structures, which the integer approximation of the figures of Euclid introduces some uncertainty, and therefore not always acceptable in practical problems of modern materials. In this regard, it is assumed conducting special experiments, the analysis of which allows to develop a qualitative evaluation of the mechanical properties of the investigated steels and cast iron. As a result of analysis of the production technology of steel and iron and research work aimed at solving the problem of evaluating the mechanical properties of the formulated problem statement of operational forecasting of these properties and the basic ways of its solution.

Keywords: database, fractal, steel, cast iron, forecast, multifractal

Развитие методов оценки структуры материалов для прогноза характеристик качества, с учетом научно-технического прогресса, вывело на новую ступень возможность проводить их количественную и качественную оценки. Для получения этой оценки применяются традиционные методы

рентгеноструктурного анализа, электронной микроскопии, термического анализа, микро-рентгеноспектрального зондирования, ядерно-магнитного резонанса (ЯМР), Оже-спектроскопии и др. Взаимосвязь между параметрами структуры металлов и комплексом их физико-механических свойств

интересовала и интересуется в настоящее время многих авторов. В работе [1] отмечается, что И. В. Тананаев, развивая представления Н. С. Курнакова о фазовых диаграммах и диаграммах «состав — свойство», заметил необходимость замены триады (состав — структура — свойства) квадригой, в которую входят еще структурные характеристики и дисперсность составляющих структуры. Данный подход позволяет учитывать влияние элементов структуры металла на его свойства. Однако сложности, заключающиеся в получении такого рода результатов, состоят в том, что многие элементы структуры металла, благодаря своей сложной конфигурации, трудно поддаются качественному описанию [2], что приводит к потере важной информации о тандеме «структура — свойства».

По нашему мнению, к таким характеристикам можно отнести существующую в данное время оценку зеренных структур, которая состоит из вычисления среднего размера зерна, плотности границ зерен, статистического распределения зерен по размерам, пористости и др. Также остаются недостаточно изученными процессы структурообразования металла и взаимосвязь этих процессов с его характеристиками качества. Для металла наличие субъективной (например, балловой) оценки параметров его структуры наблюдается, например, при количественной оценке влияния игольчатого феррита, игл мартенсита, видманштеттового феррита, верхнего и нижнего бейнита, троостита, границ зерен и т. д., что объясняется сложной конфигурацией их структуры. А феррито-бейнитная или феррито-бейнитно-мартенситная структуры требуют дальнейшего изучения в плане изменения сопротивления вязкому и хрупкому разрушению, хладоустойчивости, коррозионной стойкости, при сваривании высокопрочных конструкций [3]. Для оценки таких структур необходимо введение количественного показателя, отображающего особенности структуры.

В настоящее время с возникновением теории фракталов появилась возможность наряду с традиционными геометрическими

оценками структуры определять их размерностные оценки. Именно фрактальная геометрия показала пути формирования этого прогноза. Так как внутренняя метрика шлифа является функцией его фрактальной размерности, то в ней, вероятно, отображаются характеристики качества металла [4]. Для получения этих характеристик необходимо получить фрактальную размерность структуры материала, что является непростой задачей при создании системы прогноза. Так как металлы различаются характеристиками их качества и особенностями структуры, возникает задача формирования индивидуальной системы прогноза. В этой связи надежда на то, что можно было бы сформировать общую базу данных (БД) для прогноза качества металлов не представляется возможным.

Таким образом, мы утверждаем, что со временем такая БД, включающая большинство металлов, будет создана в зависимости от существующих потребностей и позволит прогнозировать те или иные их свойства.

В этой связи нами создана программа, включающая фрактальный подход и способствующая формированию БД, реализованной на ЭВМ [5], которая содержит следующие этапы:

1. Металлографический анализ структуры металла согласно действующим Госстандартам, включая балл зерна, соотношение фаз, длину межфазных и внутрифазных границ.

2. Определение фрактальной размерности параметров структуры металла (стали, чугуна и т. д.) [6].

3. Анализ прогноза характеристик качества исследуемого металла с применением композиции топологического [7] и фрактального [8] подходов.

4. Корректировку существующей БД новыми результатами прогноза характеристик качества металла.

Для примера на рисунке приведена мнемоническая схема, применяемая для прогноза механических свойств чугунных сортопрокатных (С) валков со структурой

пластинчатого (П) графита, легированных хромом (Х) и никелем (Н) – СПХН, производимых на ПАО «Днепропетровский завод прокатных валков» (ПАО ДЗПВ).

Механические свойства чугунных валков (ПАО ДЗПВ) X

Марка валка:

Химический состав в % по массе (за ТУ Ч 14-2-1188)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V
<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="0.76"/>	<input type="text" value="0.53"/>	<input type="text" value="0.006"/>	<input type="text" value="0.009"/>	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="1.03"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

Область валка:

Металлографический анализ (по ГОСТу 3443)

Перлит, %	Феррит, %	Карбиды, %	Графит, %	Бейнит, %	Твердость по Шору, HSD (ГОСТ 23273)
<input type="text" value="89"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="45"/>

Мартенсит, % Аустенит остаточный, % Сорбит, % Графит (Шкала 1Б и Шкала 3Б)

Механические свойства чугунного валка :

Предел прочности на растяжение: 320 МПа
с учетом погрешности (P=0,03) доверительный интервал находится в пределах ±10(МПа)

Предел прочности на изгиб: 578 МПа
с учетом погрешности (P=0,03) доверительный интервал находится в пределах ±17(МПа)

Ударная вязкость: 18,6 кгм/см²
с учетом погрешности (P=0,03) доверительный интервал находится в пределах ±1(кгм/см²)

Рис. Мнемоническое изображение компьютерной реализации программы внедрения

В настоящее время разрабатывается методика прогноза качества сталей и чугунов специального назначения с применением теории мультифракталов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Синергетика и фракталы в материаловедении / В. С. Иванова, А. С. Баланкин, И. Ж. Бунин, А. А. Оксогоев. – Москва : Наука, 1994. – 383 с. – Режим доступа: <http://www.mash.oglib.ru/bgl/9313.html>.
2. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография (стереология металлических материалов) / С. А. Салтыков. – Москва : Металлургия, 1976. – 270 с. – Режим доступа: http://www.materialscience.ru/subjects/materialovedenie/knigi/stereometricheskaya_metallografiya__saltikov_s_a_m__metallurgiya_1976__270_s_04_03_2010/.
3. Большаков В. И. Термическая и термомеханическая обработка строительных сталей / В. И. Большаков, В. Н. Рычагов, В. К. Флоров. – Днепропетровск : Січ, 1994. – 232 с.
4. Большаков В. И. Об оценке применимости языка фрактальной геометрии для описания качественных трансформаций материалов / В. И. Большаков, Ю. И. Дубров // Доповіді Національної академії наук України. – 2002. – № 4. – С. 116-121.
5. Спосіб визначення фрактальної розмірності зображення : пат. 51439А України, МПК G06K 9/00 / Большаков В. І., Дубров Ю. І., Криулін Ф. В., Волчук В. М ; патентовласник Придніпр. держ акад. буд-ва та архітектури. – № 2002042586 ; заявл. 02.04.02 ; опубл. 15.11.02, Бюл. № 11. – 4 с.
6. 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. – Режим доступа: <http://www.dopovidi.nas.gov.ua/2008-11/>.
7. Большаков В. И. Микроструктура стали как определяющий параметр при прогнозе ее механических характеристик / В. И. Большаков, Ю. И. Дубров, О. С. Касьян // Доповіді Національної академії наук України. – 2010. – № 6. – С. 89–96. – Режим доступа: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/29277>.
8. 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. Ivanova V.S., Balankin A.S., Bunin I.Z. and Oksogoyev A.A. *Sinergetika i fraktaly v materialovedenii* [Synergy and fractals in material]. Moscow: Science, 1994. 383 p. Available at: <http://www.mash.oglib.ru/bgl/9313.html>.
2. Saltykov S.A. *Stereometricheskaya metallografiya (stereologiya metallicheskikh materialov)* [Stereometric metallography (Stereology of metallic materials)]. Moscow: Metallurgiya, 1976, 270 p. Available at: http://www.materialscience.ru/subjects/materialovedenie/knigi/stereometricheskaya_metallografiya__saltikov_s_a_m__metallurgiya_1976__270_s_04_03_2010/ (in Russian).
3. Bol'shakov V.I., Rychagov V.N. and Florov V.K. *Termicheskaya i termomekhanicheskaya obrabotka stroitel'nykh staley* [Thermal and thermomechanical processing of construction steel]. Dnepropetrovsk: Sich, 1994, 232 p. (in Russian).
4. Bol'shakov V.I. and Dubrov Yu.I. *Ob otsenke primenimosti yazyka fraktal'noj geometrii dlya opisaniya kachestvennykh transformatsiy materialov* [An estimate of the applicability of fractal geometry to describe the language of qualitative transformation of materials]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2002, no. 4, pp. 116-121. (in Russian).
5. Bolshakov V.I., Dubrov Yu.I., Kryulin F.V. and Volchuk V.M. *Sposib vyznachennia fraktalnoi rozmirnosti zobrazhennia: pat. 51439A Ukrainy, MPK G06K 9/00* [Method of determining the fractal dimension image: patent 51439A of Ukraine, MPK G06K 9/00]. 2002. (in Ukrainian).
6. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Osobennosti primeneniya mul'tifraktal'nogo formalizma v materialovedenii* [Features of the multifractal formalism in materials science]. *Dopovidi Nacional'noi akademii nauk Ukraïni* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2008, no. 11, pp 99-107. Available at: <http://www.dopovidi.nas.gov.ua/2008-11/>(in Russian).
7. Bol'shakov V.I., Dubrov Yu.I. and Kasian O.S. *Mikrostruktura stali kak opredelyayushchij parametr pri prognoze ee mekhanicheskikh kharakteristik* [Steel microstructure as a defining parameter in the prediction its mechanical properties]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2010, no. 6, pp. 89-107. Available at: <http://www.dopovidi.nas.gov.ua/2008-11/> (in Russian).
8. 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. фіз.-мат. н. Башев В. Ф.

Надійшла до редколегії: 12.03.2016 р. Прийнята до друку: 26.03.2016 р.

УДК 621.771.23:669.112.227.1

POLYGONIZING CONTROLLED ROLLING STEELS FOR METAL CONSTRUCTIONS

BOLSHAKOV V. I.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
LAUKHIN D. V.^{2*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
SUKHOMLIN G. D.³, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
BEKETOV A. V.⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

¹ Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment “Prydniprov’ska State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment “Prydniprov’ska State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9842-499X

³ Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment “Prydniprov’ska State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: g_suhomlin@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5840-169X

⁴ Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment “Prydniprov’ska State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0664-0327

Summary. It were investigated micro- and substructure processes formation with the multiple hot deformation of austenite.

Keywords: *austenite, controlled rolling.*

ПОЛІГОНІЗАЦІЙНА КОНТРОЛЬОВАНА ПРОКАТКА СТАЛЕЙ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

БОЛЬШАКОВ В. І.¹, *д. т. н, проф.*,
ЛАУХІН Д. В.^{2*}, *д. т. н, проф.*,
СУХОМЛИН Г. Д.³, *д. т. н., проф.*,
БЕКЕТОВ О. В.⁴, *к. т. н., доц.*

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-62, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9842-499X

³ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: g_suhomlin@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5840-169X

⁴ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0664-0327

Анотація: Досліджено процеси формування мікро- і субструктури в умовах багатократної гарячої деформації аустеніту.

Ключові слова: *аустенит, контрольована прокатка*

ПОЛИГОНИЗАЦИОННАЯ КОНТРОЛИРУЕМАЯ ПРОКАТКА СТАЛЕЙ ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, *д. т. н, проф.*,
ЛАУХИН Д. В.^{2*}, *д. т. н, проф.*,
СУХОМЛИН Г. Д.³, *д. т. н., проф.*,
БЕКЕТОВ А. В.⁴, *к. т. н., доц.*

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9842-499X

³ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: g_suhomlin@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5840-169X

⁴ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0664-0327

Анотация. Изучены процессы формирования микро- и субструктуры при многократной горячей деформации аустенита.

Ключевые слова: аустенит, контролируемая прокатка

At present, hot rolling is the most common process used in working slabs of low-carbon steels smelted with no carbide-forming additions. Although this process ensures relatively moderate strength characteristics in plates, such steels possess good weldability and plasticity at relatively low costs [1–6].

Some strengthening is connected with saturation of metals with numerous faults which in its turn results in a necessity of application of complicated processes and high production costs. For the most part, rolled product strengthening by various methods of thermomechanical treatment is economically more feasible than expensive alloying [1–6]. Specifically, an example of such leading-edge processes is controlled rolling used in making plates for the production of large-diameter pipes used in the construction of Arctic oil and gas pipelines.

This R&D work objective was improvement of mechanical properties of the steel plates produced by controlled rolling. The main problems consisted in retention of polygonized structure of hot-deformed austenite and creation of conditions for its inheritance with proeutectoid ferrite precipitated before the finish rolling step.

Temperature and deformation conditions of the controlled rolling are usually realized as follows: heating slabs in a continuous furnace to temperatures between 1100 °C and 1200 °C, homogenizing holding during 4 to 6 hours, rough rolling completed at 980–1100 °C, cooling down to 720–820 °C, finish rolling to a required thickness and slow cooling to room temperature (see Figure 1, conventional schedule). This process has its advantages but it has certain disadvantages as well.

Firstly, it is the necessity of an additional alloying to suppress austenite grain growth through the formation of particles of high-temperature carbonitrides (otherwise, the plate impact toughness can degrade) [1–6].

Secondly, this process has only proved itself well in the production of plates not thicker than 20 mm as the thicker is the rolled product the worse are tensile strength and impact toughness because of smaller total reductions.

Thirdly, it is necessary that temperature-deformation parameters of the controlled rolling process were optimized for each rolling mill and individual plate rolling schedules were corrected depending on the planned service conditions of the rolled product.

This R&D work has resulted in a new schedule for the process of polygonizing controlled rolling featuring a higher deformation fractioning in the rough stand with the final rolling temperature being 10–30 °C lower than Ac₃ temperature and a shorter holding of the intermediate product at the bypass table to prevent recrystallization and maintain the rolling rate. When the temperature of start of working in the finish stand is achieved, rolling is carried out by the design schedule and the rolled product is cooled in a way ensuring retaining of subgrain boundaries in ferrite and escaping formation of special boundaries in the middle layers (see Figure 1, the proposed schedule).

The larger number of unit cycles at a constant total deformation ratio favors formation of a more developed polygonal austenite structure and the longer deformation time at a lower temperature at the end of rough rolling makes austenite subgrains fixed. The resulting deformed austenite structure saturated

with subgrain boundaries is favorable for achievement of homogeneity of the finite ferrite structure [7].

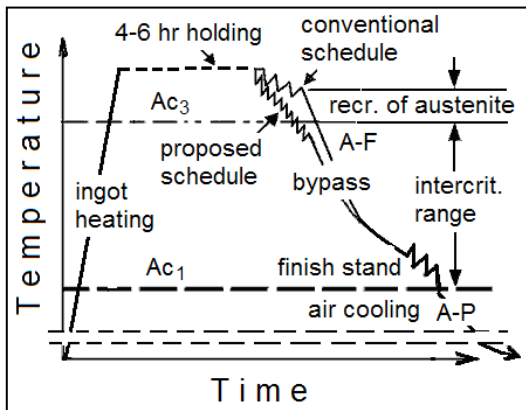


Fig. 1. Conventional and proposed controlled rolling schedules / Традиционный и предлагаемый режим контролируемой прокатки

Temperature and deformation conditions of the proposed schedule imply the temperature at the end of rolling in the rough stand to be within a range where there is no recrystallization which is a prerequisite for the formation of fine ferrite grains during cooling

in the intercritical temperature range. But if 22 mm and thicker plates are rolled, a possibility of formation of both recrystallized and non-recrystallized regions in the plate body exists.

To prevent recrystallization processes in austenite, the temperature at the end of rough rolling was shifted somewhat below the critical point Ac_3 which along with the reduced time of staying at the bypass table creates conditions in which the deformed austenite is not recrystallized or recrystallized to a minute degree.

The polygonized austenite structure preserved in this way contains a large number of additional sites of heterogeneous nucleation of ferrite (polygonal boundaries, their interfaces and nodes), cf. Figures 2a and 2b. Reduction of the temperature at the end of rough rolling to the values below Ac_3 results in a formation of fine ferrite nuclei fixing the polygonized substructure and preventing recrystallization and austenite grain growth (Figure 2d-f).

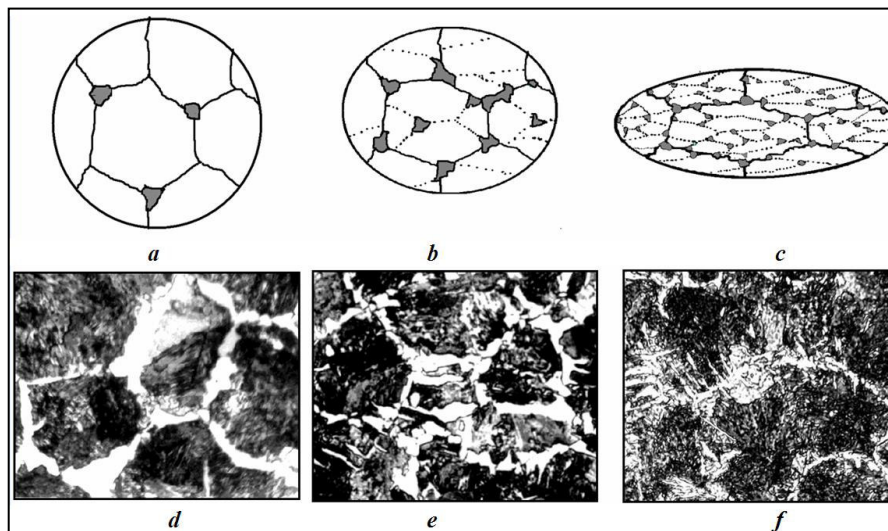


Fig. 2. Sequential stages of α -crystal nucleation at polygon boundaries at temperatures reduced down to the values below point Ac_3 ; d – f: precipitation of hypoeutectoid ferrite in steels which underwent austenite decomposition after cooling in air, $\times 800$: d: from a single heating by 1050 °C, e: after 16% hot reduction at 1000 °C; f: after 36% hot reduction at 1000 °C / Последовательные этапы зарождения α -кристаллов на полигональных границах при температурах ниже точки Ac_3 ; d – f: выделение доэвтектоидного феррита в сталях после охлаждения на воздухе $\times 800$: d: нагрев 1050 °C, e: после 16% горячей деформации при 1000 °C; e: после 36% горячей деформации при 1000 °C

Structure investigations of quenched samples have shown that cooling down to the temperatures below point Ac_3 gives rise to

nucleation of new crystals of hypoeutectoid ferrite not only at large-angle boundaries but at polygonal ones as well (see Figures 2c, f). In

particular, Figure 2f shows that the internal volumes of the former austenite grains (their boundaries are seen due to the continuous ferrite fringes) are covered with ferrite nuclei of an average size 0.5–1.5 μm .

In case of very small or zero temperature drops after rough rolling, parameters of the polygonal substructure develop in a reverse order: polygon sizes get smaller and the mean angle of orientation disorder decreases. Furthermore, the ability of polygonal boundaries to serve as the sites of ferrite crystal nucleation decreases.

Additionally, low-angle polygonal boundaries are formed in fine ferrite grains during finish rolling which results in refining of the final structure and a simultaneous upgrade of strength and plasticity of the finished plates.

Delivery batch tests of 40 mm thick plates rolled by the proposed schedule have demonstrated simultaneous improvement of tensile strength and stabilization of viscosity as compared to the plates rolled by the conventional technology: tensile strength in Z direction being 1.5–2 times higher (230 to 480 MPa).

It is important that specification of properties in Z direction (direction of the rolled product thickness) has to be an integral part of engineering requirements to steels as the steel plasticity can fall abruptly because of an effect of tangential tensile forces, especially forces normal to the plate plane.

Percent narrowing (ψ_Z) is the parameter most sensitive to the variation of all mechanical characteristics of thick plates in Z direction.

Actual percent narrowing in Z direction in the plates produced by the proposed schedule is 20–25 % higher than that in the plates produced by the conventional technology and almost 2 times higher than it is required by the standards for Z 35 quality rating.

Microstructure of 22 mm thick plates of microalloyed low-carbon steel 10G2FB rolled by the conventional technology and using the proposed schedule is shown in Figures 3a, b.

Visual estimate shows that the structure in the plates rolled by the proposed schedule is more dispersed than that in the plates rolled by the conventional technology. Pearlite striation

is less pronounced than in case of an ordinary hot-worked metal.

Photographs of shadow-cast replica show that the large-angle and subgrain boundaries interact with their energies and the subgrains can be 0.5 μm in diameter and somewhat elongated in the rolling direction (Figure 4a).

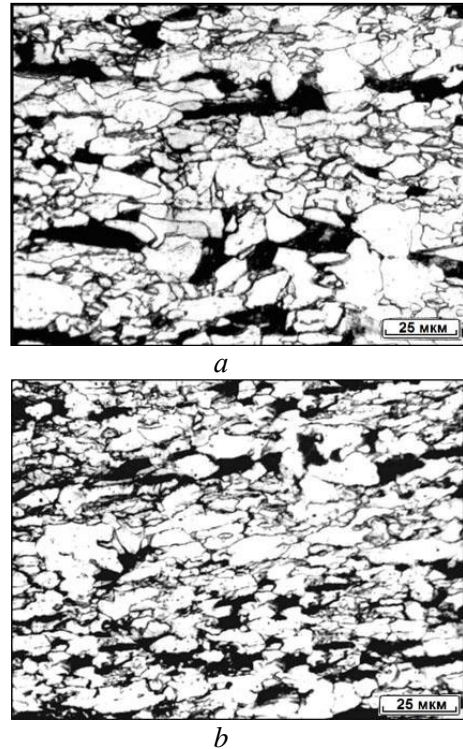


Fig. 3. Structure of 22 mm thick plates of low-carbon steel 10G2FB rolled by conventional technology (a) and with the use of the proposed schedule (b) / Структура пластин толщиной 22 мм из низкоуглеродистой стали 10Г2ФБ прокатанной по традиционной технологии (а) и по приведенной схеме (б)

Images of thin foils prepared from the metal rolled by the experimental schedule reveal dislocation arrangement of subgrain boundaries (Figure 4b) and networks formed by several dislocation families. They contain mostly hexagonal cells and sometimes rectangular ones. Individual dislocations are discernable if the distance between them is 3 to 5 nm, otherwise they merge into a strip with a contrast typical for the large-angle boundaries although their mean off-orientation angle does not exceed 3–6 degrees.

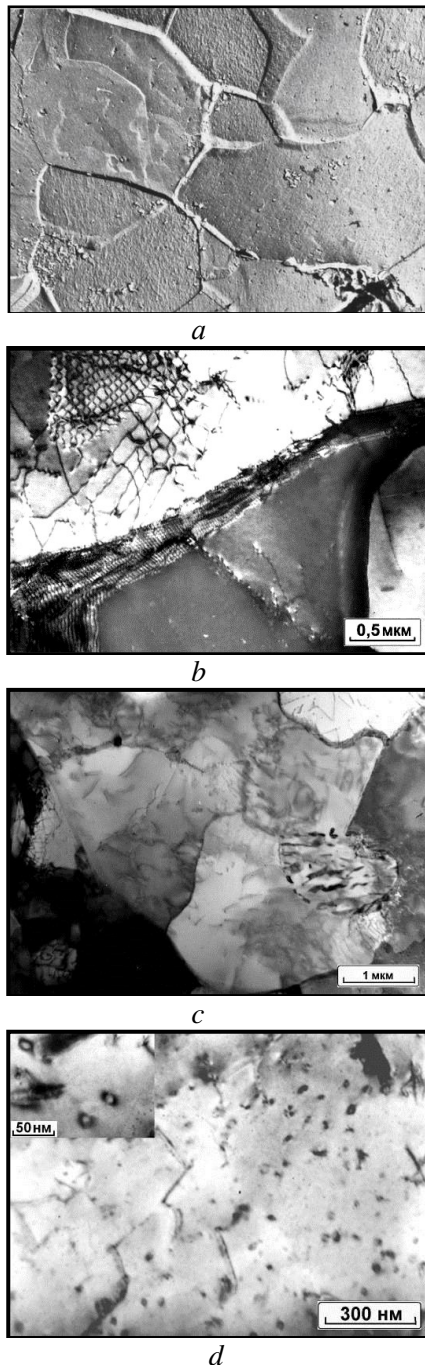


Fig. 4. Thin structure in 22 mm thick plates of low-carbon steel 10G2FB rolled by the experimental schedule: a, b, c: electron microscope image of subgrain (polygonal) boundaries; d: dispersed carbides of (Nb, V)C type in ferrite / Тонкая структура плит толщиной 22 мм из низкоуглеродистой стали 10Г2ФБ прокатанной по предлагаемому режиму: a, b, c: электронномикроскопическое изображение субзеренных (полигональных) границ; d: дисперсные карбиды (Nb, V)C в ферритной фазе

Cementite bands part into short sections with evidently rounded edges.

Some of them take a disk or an ellipsoid shape (Figure 4c). Such changes in the pearlite component promote growth of plasticity and decrease in strength of the finished plates.

However, a different process is simultaneously taking place. Contrary to the first one, it increases strength and decreases plasticity: precipitation of excess phases. In the ferrite component, a relatively high density of disperse particles is observed. These particles have contrast typical for carbides of (Nb, V)C type [8, 9]. Figure 4d shows their uniform distribution in the entire internal volume of the ferrite grains. Some dislocations are conjugated with carbonitride particles restraining their displacement at critical loads, increasing start stresses and strengthening the metal in this way.

The high-magnification image patch in the upper left corner of Figure 4d shows a characteristic 20 nm diameter ring-shaped contrast formed by diffracting electrons. Such contrast reveals itself due to the elastic stresses arising around the carbonitride particles [5]. These particles themselves have smaller sizes, not larger than 3–7 nm. Their diameter is smaller than the light spots in the centre of the ring-shaped images.

Based on the foregoing, the following conclusions can be drawn:

- the proposed hot plate rolling schedule is based on a creation of a polygonized austenite structure being formed during hot working and forcibly kept stable up to the temperatures of the upper part of the intercritical range. The further multiple nucleation of preeutectoid ferrite at both large-angle and polygonal boundaries improves dispersity of ferrite grains in the metal entering the finish rolling stand, therefore a more dispersed final ferrite structure is formed in the finished plates and accordingly better mechanical properties are achieved;

- the proposed plate rolling schedule can be implemented with no capital investments at the existing equipment of Ukrainian metallurgical works;

- the proposed plate rolling schedule promotes gain in and stabilization of plasticity and viscosity at sub-zero temperatures and reduction of plate rejections over unsatisfactory mechanical properties;

- the results of comprehensive studies allow to recommend plates of steel grades 10G2FB and S355j2 for their use as a material

for the production of large-diameter oil and gas rise buildings and large-span floors.
line pipes and construction of frames for high-

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Влияние длительности аустенитизации и деформации на структуру и свойства малоуглеродистых сталей 09Г2С и 10Г2ФБ / В. И. Большаков, Г. Д. Сухомлин, Л. Н. Лаухина, Д. В. Лаухин // Theoretical foundations of civil engineering. Proc. 13th Polish-Ukrainian Transactions (conference), Warsaw, June, 2005 / ed. by W. Szczesniak. – Warsaw ; Dnepropetrovsk, 2005. – № 13. – P. 83–88.
2. Бернштейн М. Л. Структура деформированного металла / М. Л. Бернштейн – Москва : Metallurgiya, 1977. – 432 с. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/675269/>.
3. Гриднев В. Н. Прочность и пластичность холоднодеформированной стали / В. Н. Гриднев, В. Г. Гаврилюк, Ю. Я. Мешков – Киев : Наук. думка, 1974. – 231 с.
4. Yokota T. Formation of nanostructured steel by phase transformation / Yokota T., Garica Mateo C., Bhadeshia H. K. D. H. // Scripta Materialia. –2004. – Vol. 51. – P. 767-770. – Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=57EFEDCE91137938E3698483210A9C48?doi=10.1.1.216.2904&rep=rep1&type=pdf>.
5. Большаков В. И. Термомеханическая обработка конструкционной стали / В. И. Большаков. – 3-е изд., перераб. и доп. – Канада : Базилиан Пресс, 1998. – 316 с.
6. Langford G. Subgrain strengthening of materials / Langford G., Cohen M. // Transactions of the American Society for Metals. – 1969. – Vol. 62 – P. 823-835. – Режим доступа: <http://www.springer.com>.
7. Большаков В. И. Полигонизация аустенита при контролируемой прокатке : монографія / В. И. Большаков, Д. В. Лаухин. – Днепропетровск : ПГАСА, 2011. – 268 с.
8. Утевский Л. М. Дифракционная электронная микроскопия в материаловедении / Л. М. Утевский. – Москва : Metallurgiya, 1973. – 584 с. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/687682/>.
9. Электронная микроскопия тонких кристаллов : пер. с англ. / П. Хирш, А. Хови, Р. Николсон, Д. Пэшли, М. Уэлан. – Москва : Мир, 1968. – 574 с. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/911407>.

REFERENCES

1. Bolshakov V.I., Sukhomlin G.D., Laukhina L.N. and Lauhin D.V. *Vliyanie dlitel'nosti austenitizatsii i deformatsii na strukturu i svoystva malouglerodistykh stalej 09G2S i 10G2FB* [The effect of the the austenitizing duration and deformation on structure and low carbon steels properties 09G2S 10G2FB]. *Theoretical foundations of civil engineering. Proc. 13th Polish-Ukrainian Transactions (conference)*. Warsaw, Dnepropetrovsk, 2005, no. 13, pp. 83–88. (in Russian).
2. Bernshtein M.L. *Struktura deformirovannogo metalla* [Structure of deformed metals]. Moskva : Metallurgiya, 1977, 432 p. Available at: <http://www.twirpx.com/file/675269/> (in Russian).
3. Gridnyov V.I. Gavrilyuk V.G. and Meshkov Yu.a. *Prochnost' i plastichnost' kholodnodeformirovannoj stali* [Strength and plasticity of cold worked steel]. Kiev: Nauk. dumka, 1974, 231 p. (in Russian).
4. Yokota T., Garica Mateo C. and Bhadeshia H. K. D. H. *Formation of nanostructured steel by phase transformation Scripta Materialia*. 2004, vol. 51, pp. 767-770. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=57EFEDCE91137938E3698483210A9C48?doi=10.1.1.216.2904&rep=rep1&type=pdf>.
5. Bolshakov V.I. *Termomekhanicheskaya obrabotka konstruksionnoj stali*. [Thermomechanical treatment of construction steels]. 3rd edition. Kanada: Bazilian Press, 1998, 316 p. (in Russian).
6. Langford G. and Cohen M. *Subgrain strengthening of materials. Transactions of the American Society for Metals*. 1969, vol. 62, pp. 823-835. Available at: <http://www.springer.com>.
7. Bolshakov V.I. and Laukhin D.V. *Poligonizatsiya austenita pri kontroliruemoj prokatke* [Polygonization of austenite during controlled rolling]. Dnipropetrovsk: PGASA, 2011, 268 p. (in Russian).
8. Utevsij L.M. *Difraktsionnaya elektronnaya mikroskopiya v materialovedenii* [Diffraction electron microscopy in physical metallurgy]. Moskva: Metallurgiya, 1973, 584 p. Available at: <http://www.twirpx.com/file/687682/> (in Russian).
9. Hirsh P., Hovi A., Nikolson R., Peshli D. and Uelan M. *Elektronnaya mikroskopiya tonkikh kristallov* [Electron microscopy of thin crystals]. Moskva: Mir, 1968, 574 p. Available at: <http://www.twirpx.com/file/911407> (in Russian).

Рецензент: д-р. т. н. Данишевський В. В.

Надійшла до редколегії: 17.03.2016 р. Прийнята до друку: 31.03.2016 р.

УДК 691.55:620.193

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ РЕДИСПЕРСИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,
ДЕРЕВ'ЯНКО В. Н.^{2*}, д. т. н., проф.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (0562) 47-59-51, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-2624-4666

^{2*} Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38(0562) 47-16-22, e-mail: derev@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

Аннотация. Постановка проблемы. В последние годы изделия на основе гипсовых вяжущих материалов получили широкое распространение, так как их применение позволяет повысить производительность труда и качество выполнения работ. Однако их производство сдерживается отсутствием высокоэффективных сухих добавок. Отечественные добавки для регулирования свойств гипсовых вяжущих находятся в основном в жидком состоянии. Применение импортных добавок увеличивает стоимость изделий. Одним из направлений получения сухих добавок является использование поливинилацетатной дисперсии, которая широко применяется в жидком виде для регулирования свойств гипсовых вяжущих материалов. Но при переводе в сухое состояние дисперсия агрегируется. Кроме того, добавка не имеет необходимых функциональных свойств.

Основная **проблема** производства дисперсионных полимерных порошков – разработка механизма их диспергирования и образования пленки, подбор регуляторов. Так, стабилизаторы в данной системе предотвращают коагуляцию эмульсии (дисперсии). Защитный коллоид обеспечивает получение дисперсионного порошка, способного затем диспергироваться в воде. И, наконец, сушка (удаление влаги) приводит к образованию пленки.

Ключевые слова: порошок редисперсионный, материалы вяжущие, добавки, эмульсия, дисперсия поливинилацетатная.

МЕХАНИЗМ УТВОРЕННЯ РЕДИСПЕРСІЙНИХ ПОЛІМЕРНИХ ПОРОШКІВ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,
ДЕРЕВ'ЯНКО В. М.^{2*}, д. т. н., проф.

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (056)-745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38(0562) 47-16-22, e-mail: derev@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

Анотація. Постановка проблеми. Останнім часом виробни на основі гіпсових в'язучих матеріалів одержали значне поширення, Тому що їх застосування дозволяє підвищити продуктивність праці і якість виконання робіт. Проте їх виробництво стримується відсутністю високоефективних сухих добавок. Вітчизняні добавки для регулювання властивостей гіпсових в'язучих перебувають в основному в рідкому стані. Застосування імпортих добавок збільшує вартість виробів. Один із напрямів отримання сухих добавок – використання полівінілацетатної дисперсії, яка широко застосовується в рідкому вигляді для регулювання властивостей гіпсових в'язучих матеріалів. Але під час перетворення в сухий стан дисперсія агрегується. Крім того, добавка не має необхідних функціональних властивостей.

Основна **проблема** виробництва дисперсійних полімерних порошків — це розроблення механізму їх диспергування та утворення плівки, і підбір регуляторів. Так стабілізатори в даній системі запобігають коагуляції емульсії (дисперсії). Захисний колоїд забезпечує отримання дисперсійного порошку, здатного потім диспергуватися у воді. І, нарешті, сушіння (видалення вологи) зумовлює утворення плівки.

Ключові слова: порошок редисперсійний, матеріали в'язучі, добавки, емульсія, дисперсія полівінілацетатна

THE MECHANISM OF FORMATION OF REDISPERSIBLE POLYMER POWDERS

BOLSHAKOV, V. I.¹, *Dr. Sc.(Tech.), Prof.*,
DEREVIANKO, V. N.^{2*}, *Dr. Sc.(Tech.), Prof.*

¹ Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment "Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevskogo str., 24-a, Dnepropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-59-51, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-2624-4666

^{2*} Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, State Higher Educational Establishment "Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevskogo str., 24-a, Dnepropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: derev@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

Summary. Statement of the problem. In recent years, products based on gypsum binding materials is widespread, as their application allows to increase the productivity and quality of work. However, their production is constrained by lack of efficient dry additives. Domestic additives for adjusting the properties of gypsum binders are mainly in the liquid state. The use of imported additives increases the cost of products. One of the ways to obtain the dry additive is the use of polyvinyl acetate dispersion, which is widely used in liquid form to adjust the properties of cementations materials. But by the reworking to the dry condition the dispersion is aggregated. Furthermore, the additive does not have the required functional properties.

The main **problem** of the production of dispersible polymer powders is development of the mechanism of their dispersion and film formation, and selection of regulators. So the stabilizers in the system prevent the coagulation of the emulsion (dispersion). Protective colloid provides obtaining of the dispersion powder, then is able to disperse in the water. And, finally, drying (moisture removal) leads to the film formation.

Keywords: *redispersible powder, binding materials, additives, emulsion, polyvinylacetate dispersion*

Введение. В результате появления новых конструктивно-технологических систем зданий, сооружений и конструкционных материалов, совершенствования технологических процессов в строительстве произошла существенная переоценка подходов к выбору материалов, используемых для отделочных и монтажных работ. Современное строительство невозможно представить без применения сухих строительных смесей. Возможность точного регулирования специальных свойств, их стабильность способствуют повышению качества строительных работ, производительности труда, снижению затрат на транспортирование и хранение, уменьшению потерь на выполнение работ. Эти и другие показатели выгодно отличают смеси от традиционных растворов и бетонов, применяемых в строительстве [1–9].

При изготовлении сухих строительных смесей необходимыми составными частями являются модифицирующие добавки, регулирующие сроки схватывания, время пригодности смеси и другие физико-механические свойства. В частности, при изготовлении сухих строительных смесей на основе гипсовых вяжущих необходимы

добавки, которые позволяли бы регулировать процессы твердения вяжущего в необходимых пределах [4–6].

Анализ последних публикаций показывает, что в Украине недостаточно развито производство сухих добавок, вследствие чего приходится использовать импортные, довольно дорогостоящие, а это не позволяет сделать отечественную продукцию конкурентоспособной.

Разработка редиерсионных полимерных порошков позволит расширить ассортимент отечественных добавок для производства сухих строительных смесей и, соответственно, повысить их конкурентоспособность [6–12].

Для достижения поставленной цели предложен способ получения редиерсионных полимерных порошков на основе поливинилацетатной дисперсии (ПВАД), которая широко применяется для улучшения свойств растворов и бетонов, и гидрата окиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

В зависимости от условий получения средняя молекулярная масса ПВА составляет 10–1600 а.е.м., а благодаря высокой адгезии ко многим материалам (стеклу, металлу, древесине и др.) поливинилацетат в виде дисперсии вводят в

состав лаков и клеев. Его применяют для изготовления покрытий для дерева, ткани, бумаги (моющиеся обои), черепицы, керамики.

Поливинилацетатная дисперсия входит в состав полимерцементных и полимербетонных покрытий, применяется для получения бесшовных полов, служит основой вододисперсионных красок, которые в 2–3 раза дешевле масляных.

Полимерные добавки к бетонам и растворным смесям для повышения их качества действуют как поверхностно-активные гидрофобизирующие вещества.

Они могут образовывать материалы с пространственной структурой, переходить в вязкотекучее состояние, кольматируя поры бетона, в результате чего улучшается адгезия заполнителей с цементным камнем, повышаются такие физико-механические свойства как плотность, прочность, газо- и воздухопроницаемость, морозостойкость.

Термопластический полимер ПВА, образуя в бетоне эластичные слои, кольматируя поры цементного камня, значительно улучшает деформативные свойства бетона, повышает его прочность при изгибе и растяжении.

Основными методами синтеза ПВА, которые применяются в промышленности, есть:

- полимеризация в массе;
- полимеризация в растворе;
- полимеризация в водных эмульсиях;
- поликонденсация.

Полимеризация в массе проводится в результате нагревания в форме смеси исходного мономера с инициатором или катализатором при заданной температуре.

Основной недостаток этого метода — трудности, связанные с отводом тепла, которое выделяется в результате реакции.

Полимеризация в растворе может проводиться двумя способами. При полимеризации по первому способу выбирают растворитель, в котором растворяют исходный мономер, но не растворяют полимер, который образовывается.

При проведении полимеризации по второму способу, который получил название

«лаковая полимеризация», подбирают растворитель, в котором растворяется как исходный мономер, так и полимер, который образовался. В результате образовывается раствор полимера, который может быть использован в качестве лака.

Полимеризация в растворе проводится при нагревании и перемешивании (вместе с раскрытым инициатором или катализатором). В результате реакции образовывается полимер с небольшой полидисперсностью (то есть с макромолекулами, которые имеют одинаковую степень полимеризации), что является значительным преимуществом полимеризации в растворе в сравнении с полимеризацией в массе. Недостаток метода — полимеры имеют меньшую молекулярную массу, чем при полимеризации в массе, вследствие легкого разрыва реакционной цепи под влиянием растворителя.

Полимеризация в водных эмульсиях заключается в том, что мономеры эмульгируют в тщательно очищенной воде. Для облегчения диспергирования мономера к смеси прибавляют эмульгатор (вещество, которое снижает поверхностное натяжение на границе капли мономера с водой). В качестве эмульгаторов применяют поверхностно-активные вещества (соли органических сульфокислот и др.), высокомолекулярные водорастворимые соединения (поливиниловый спирт) или высокодисперсные гидрофильные порошки (тальк, оксиды некоторых металлов и др.).

Полимеризация в водных эмульсиях — наиболее перспективный метод синтеза полимеров, который быстро приобретает общее признание в последние годы. Это объясняется возможностью получения полимеров желательной молекулярной массы и высокой степени полимеризации. Значительным преимуществом этого метода перед другими является также большая скорость реакции и удобное регулирование теплового режима процесса.

Поликонденсацию проводят в реакторах периодического действия. Реакция поликонденсации ускоряется в присутствии катализаторов кислого или щелочного характера.

Проблемой использования поливинилацетатных дисперсий в качестве полимерной добавки при производстве сухих строительных смесей является отсутствие их в сухом состоянии.

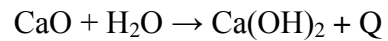
Результаты исследований.

Разработан состав добавки на основе поливинилацетатной дисперсии в сухом состоянии для замедления сроков схватывания сухих гипсовых смесей.

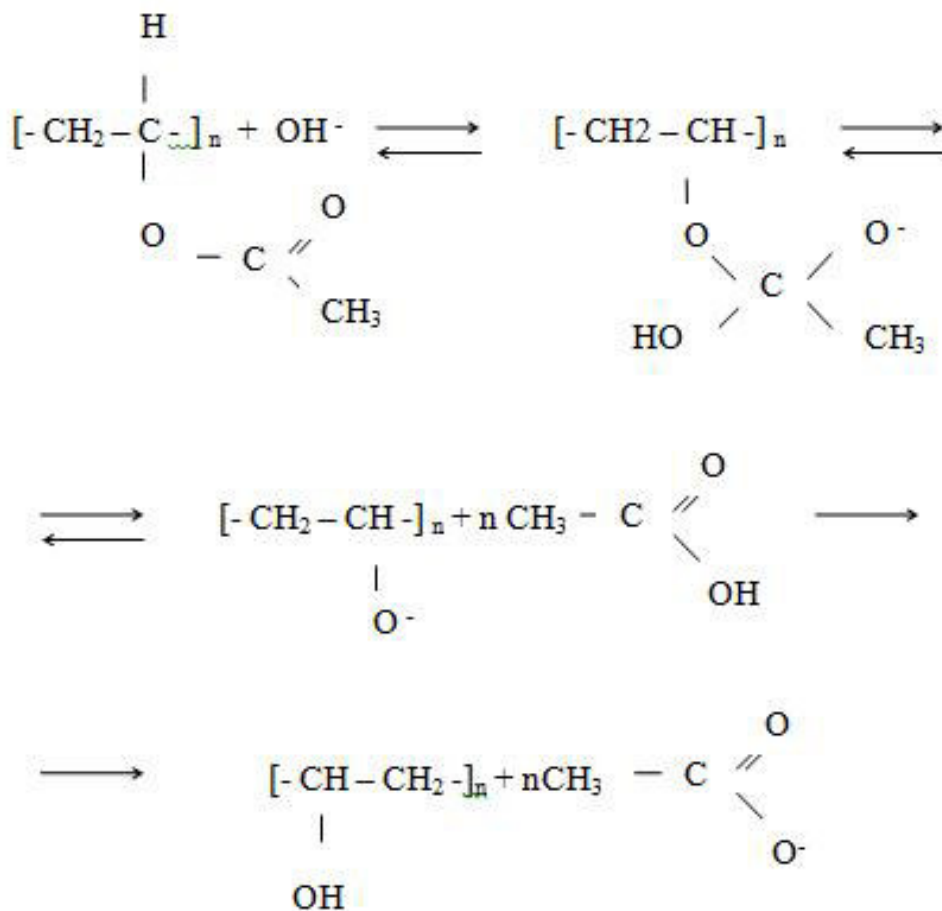
По предложению авторов в состав редисперсионных полимерных порошков (РПП) должна входить негашеная известь

(CaO) и поливинилацетатная дисперсия (определенной концентрации и плотности).

В присутствии поливинилацетатной дисперсии, при гашении, известь будет гидратироваться водой ПВАД с выделением тепла по реакции:



В тоже время поливинилацетат подвергается щелочному гидролизу, механизм которого может быть представлен следующей схемой:

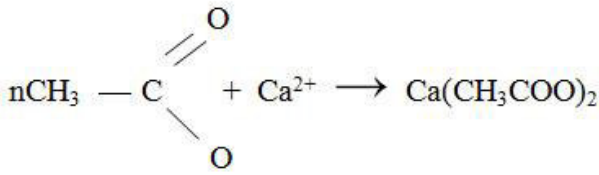


Следовательно, одним из продуктов реакции является поливиниловый спирт, особенностью строения, молекулы которого является наличие гидрофильных OH – групп, обладающих большим сродством к ионным и полярным структурам. С другой стороны, углеводородный радикал неполярен и является гидрофобной составляющей молекулы.

Можно предположить, что гидрофильная часть молекулы поливинилового спирта, являясь ионогенной, будет адсорбироваться на поверхности частиц гипсового вяжущего,

образуя мономолекулярную пленку, ориентированную своей гидрофобной частью от частиц гипса. Результатом этого является замедление процесса гидратации гипсового вяжущего и увеличение сроков схватывания.

Кроме поливинилового спирта в результате реакции гидролиза образуется ацетат кальция по схеме:



Ацетат кальція спосібствует снижению растворимости гипсового вяжущего, так как обеспечивает повышенную концентрацию ионов кальція в растворе, что спосібствует снижению скорости образования центров кристаллизации ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и, как результат, замедлению сроков схватывания гипсовых вяжущих.

Предложенная гипотеза получения сухой добавки на основе минерального порошка и поливинилацетатной дисперсии для регулирования свойств сухих строительных смесей подтверждается предварительными опытами, например, время начала схватывания гипса увеличивается с 9 до 25 минут.

Дальнейшие исследования были направлены на решение следующих задач: оптимизацию составов РПП на основе ПВА по основным свойствам сухих строительных смесей и определение технологических параметров их получения.

Наличие в разработанном редисперсионном полимерном порошке гидроксида кальція, поливинилового спирта, солей ацетата кальція подтверждается рентгеноструктурным анализом. Дифрактограмма добавки (рис. 1) показала содержание кристаллических фаз: это $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (линии 0,312; 0,498; 0,169; 0,18 нм), соли ацетата кальція (линии 0,117; 0,854; 0,744 нм) линии 0,252; 0,257 нм, согласно [1; 2; 6] принадлежат поливинилового спирту.

Микроструктура добавки (рис. 2), представлена высокодисперсными кристаллами округленной формы.

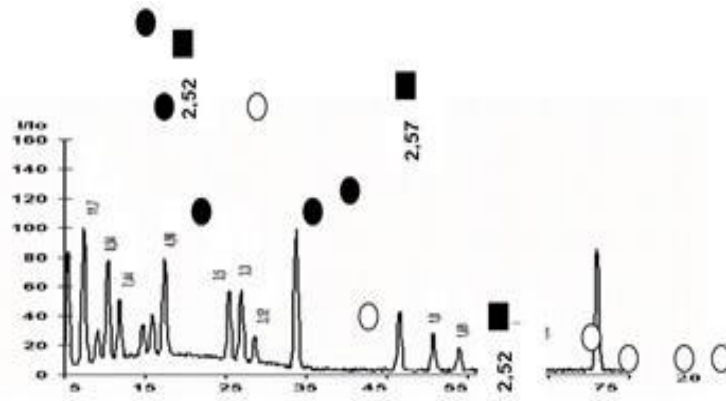


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма добавки
Двойной угол отражения, 2θ

- - поливиниловый спирт, $(-\text{CH}_2 - \text{CHON}-)_n$;
- - соли ацетата кальція, $\text{C}_4\text{H}_6\text{CaO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
- - гидроксид кальція

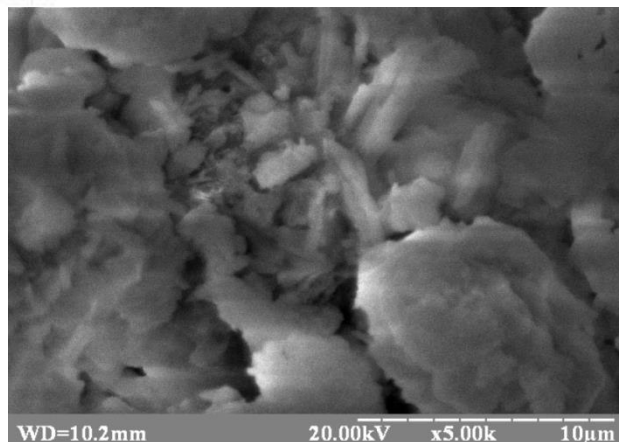


Рис. 2. Микрофотография порошка добавки

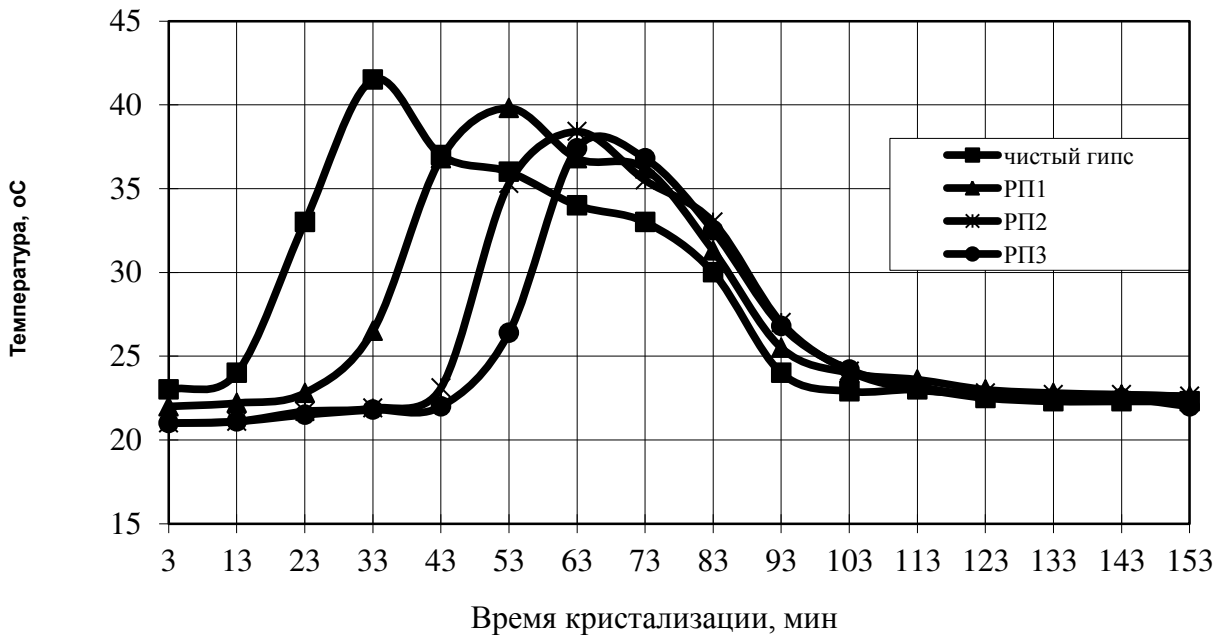


Рис. 3. Изменение температуры процесса гидратации полуводного гипса в присутствии добавок

Тепловыделение при гидратации строительного гипса с добавками РПП в количестве 1,5 % по массе гипса значительно отличается от тепловыделения полуводного гипса чистого (рис. 3).

Температурный пик термодинамического процесса гидратации гипса строительного с добавками РПП на 3–5 °С ниже, чем чистого, и составляет 38–40 °С.

Период подъема температуры примерно равен разнице во времени между началом и концом схватывания. Время снижения температуры начинается примерно через 1,0–1,5 часа, что связано с окончанием процессов гидратации вяжущего.

Замедление процесса гидратации гипсовых вяжущих подтверждается результатами исследования растворимости смесей гипса с добавкой дисперсионного полимерного порошка. В состав дисперсионного порошка входит гидроксид кальция $Ca(OH)_2$. При смешивании гипсового вяжущего с добавкой РПП соответственно изменяется концентрация ионов кальция Ca^{2+} в растворе. Действительно, [5; 7; 10; 11]

произведение концентраций (точнее активностей) ионов какого-либо малорастворимого электролита в насыщенном растворе его представляет собой величину, постоянную при данной температуре и равную произведению растворимости электролита, в нашем случае $CaSO_4 : [Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}] = PP_{CaSO_4} = 25 \cdot 10^{-6}$, а растворимость $CaSO_4$ определяется:

$$P_{CaSO_4} = \frac{\sqrt{PP}}{[Ca^{2+}]} = \frac{\sqrt{25 \cdot 10^{-6}}}{[Ca^{2+}]} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{[Ca^{2+}]}, \quad (1)$$

где $[Ca^{2+}] = \frac{m_{CaO} \cdot \omega \cdot \rho \cdot \mu}{M_{CaO}}$,

концентрация ионов кальция в растворе;

m – масса оксида CaO в растворе, г;

M – молекулярная масса CaO = 56 г/моль.

Расчеты растворимости $CaSO_4$ по выше приведенным формулам в зависимости от расхода дисперсионных полимерных порошков и, соответственно, от массы CaO в растворе приведены в таблице.

Результаты расчета растворимости CaSO₄

Содержание РПП в гипсовой смеси, %	Соотношение СаО : ПВАД в РПП	Масса СаО в РПП, г	Концентрация ионов СаО в растворе	Растворимость, моль/л
1	1,3 : 1	1,7	0,0304	0,164
1,5	1,3 : 1	2,54	0,045	0,111
2	1,3 : 1	3,4	0,0607	0,0823
2,5	1,3 : 1	4,24	0,0757	0,066
3	1,3 : 1	5,1	0,091	0,0549

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В. Н. Количественный анализ / В. Н. Алексеев. – Изд. 4-е, перераб. – Москва : Химия, 1972. – 504 с.
2. Амешли Ф. Использование редисперсионных порошков «RhoXimat» в производстве сухих смесей / Ф. Амешли, Н. Рюиз // Строительные материалы. – 2000. – № 5. – С. 8–9.
3. Бийтц Р. Химические добавки для улучшения качества строительных растворов / Р. Бийтц, Х. Линденау // Строительные материалы. – 1999. – № 3. – С. 13–15.
4. Физика полимеров : сб. ст. / под ред. М. В. Волькенштейн. – Москва : Изд-во иностр. лит-ры, 1960. – 552 с.
5. Модифицированные редисперсионные полимерные добавки для гипсовых вяжущих / В. Н. Деревянко, А. А. Дрозд, Н. В. Кондратьева, Г. Г. Вдовкина // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія : Технічні науки. – Луганськ, 2010. – № 14. – С. 306–312.
6. Разработка редисперсионных полимерных порошков-добавок на основе поливинилацетатной дисперсии / В. Н. Деревянко, А. А. Дрозд, О. В. Шаповалова, Г. Г. Вдовкина, Н. В. Кондратьева // Вопросы химии и химической технологии. – № 2. – С. 123–124.
7. Гонтарь Ю. В. Гипсовые и гипсоангидритовые растворные смеси для отделочных работ / Ю. В. Гонтарь, А. И. Чалова, А. К. Гайнутдинов // Строительные материалы. – 2006. – № 7. – С. 6–8.
8. Лутц Г. Полимерные вяжущие в продуктах строительной химии / Лутц Г., Мешков П. И. // Будівництво України. – 1996. – № 5. – С. 32–35.
9. Лутц Г. Порошковые полимеры для модификации сухих строительных красок / Г. Лутц // Лакокрасочные материалы. – 1997. – № 2. – С. 26–27.
10. Парикова Е. В. Влияние карбонатных наполнителей на свойства сухих гипсовых смесей / Е. В. Парикова, В. А. Безбородов, Г. И. Бердов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2005. – № 11/12. – С. 41–44.
11. Петропавловская В. Б. Модифицированные гипсовые дисперсные системы негидратационного твердения / В. Б. Петропавловская, В. В. Белов, А. Ф. Бурьянов // Строительные материалы. – 2008. – № 3. – С. 76–77.
12. Цюрбриген Р. Дисперсионные полимерные порошки – особенности поведения в сухих строительных смесях / Цюрбриген Р., Дильгер П. // Строительные материалы. – 1999. – № 3. – С. 10–12.

REFERENCES

1. Alekseev V.N. *Kolichestvennyj analiz* [Numerically analysis]. Moskva: Khimiya, 1972, 504 p. (in Russian).
2. Ameshli F. and Ryuiz N. *Ispol'zovanie redispersionnykh poroshkov «RhoXimat» v proizvodstve sukhikh smesey* [The use of dispersible powders «RhoXimat» in the dry mixes production]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2008, no. 5, pp. 8-9. (in Russian).
3. Byjtts R. and Lindenau H. *Khimicheskie dobavki dlya uluchsheniya kachestva stroitel'nykh rastvorov* [Chemical additives to mortars quality improve]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 1999, no. 3, pp. 13–15. (in Russian).
4. Volkenshtein M.V., ed. *Fizika polimerov* [Physics of polymers]. Moskva: Izd-vo inostr. lit-ry, 1960, 552 p. (in Russian).
5. Derevyanko V.N., Drozd A.A., Kondrateva N.V. and Vdovkina G.G. *Modifitsirovannye redispersionnye polimernye dobavki dlya gipsovykh vyazhushchikh* [Modified redispersible polymer additives for gypsum binders]. *Naukovyi visnyk Luhanskogo natsionalnoho ahrarnoho universitetu. Seriya: Tekhnichni nauky* [Scientific bulletin of Luhansk National Agrarian University. Series: Technical sciences]. Luhansk, 2010, no. 14, pp. 306–312. (in Russian).

6. Derevyanko V.N., Drozd A.A., Vdovkina G.G., Shapovalova O.V. and Kondrateva N.V. *Razrabotka redispersionnykh polimernykh poroshkov-dobavok na osnove polivinilatsetatnoj dispersii* [Development of redispersible polymer powders additives based on polyvinyl acetate dispersion]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tehnologii* [Questions on chemistry and chemical terminology]. No. 2, pp. 123-124. (in Russian).
7. Gontar Yu.V., Chalova A.I. and Gajnutdinov A.K. *Gipsovye i gipsoangidritovye rastvornye smesi dlya otdelochnykh rabot* [Plaster and gypsum and anhydrite mortars for finishing works]. *Stroitel'nye materialy* [Buildings materials]. 2006, no. 7, pp. 6 – 8. (in Russian).
8. Lutts G. and Meshkov P.I. *Polimernye vyazhuschie v produktakh stroitel'noj khimii* [Polymeric binders in the construction chemicals products]. *Budivnitstvo Ukrainy* [Construction of Ukraine]. 1996, no. 5, pp. 32-35. (in Russian).
9. Lutts G. *Poroshkovye polimery dlya modifikatsii sukhikh stroitel'nykh krasok* [Powder polymers for the modification of dry colors]. *Lakokrasochnye materialy* [Paint-and-lacquer materials]. 1997, no. 2, pp. 26-27. (in Russian).
10. Parikova E.V., Bezborodov V.A. and Berdov G.I. *Vliyanie karbonatnykh napolnitelej na svojstva sukhikh gipsovykh smesey* [Effect of carbonate fillers on the dry plaster mixes properties]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo* [News of High Educational Institutes. Construction]. 2015, no. 11, 12, pp. 41-45. (in Russian).
11. Petropavlovskaya V.B., Belov V.V. and Bur'yanov A.F. *Modifitsirovannye gipsovye dispersnye sistemy negidratatsionnogo tverdeniya* [Modified gypsum dispersions of not hydration hardening]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2008, no. 3, pp. 76-77. (in Russian).
12. Tsyurbriggen R. and Dilger P. *Dispersionnye poroshki, osobennosti povedeniya v sukhikh stroitelnykh smesyakh* [Dispersible polymer powders - speciality in the behavior of dry construction mixtures]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 1999, no. 3, pp. 10-12. (in Russian).

Рецензент: д-р. т. н., проф. Шпір'ко М. В.

Надійшла до редколегії: 11.04.2016 р. Прийнята до друку: 25.04.2016 р.

УДК 666.972.124:691.322

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ШЛАКОВ СИЛИКОМАРГАНЦА

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н, проф.,

ЕЛИСЕЕВА М. А.^{2*}, к. т. н.,

НЕВЕДОМСКИЙ В. А.³, к. т. н.,

ЩЕРБАК С. А.⁴, д. т. н., проф.

¹ Кафедра материаловедения и обработки металлов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. (056) 745-23-72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра реконструкции и управления в строительстве, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (096) 377 01 36, e-mail: SMU.TGO@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-4474-3255

³ Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (050) 157 92 67, e-mail: nevedomsky47@gmail.com

⁴ Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (095) 243 32 09, e-mail: aspirant@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0346-4436

Аннотация. Постановка проблемы. В настоящее время особую актуальность приобрели вопросы внедрения в производство строительных материалов и изделий ресурсосберегающих видов техники и технологии; комплексного использования сырья и материалов, исключаящие или существенно снижающие их вредное воздействие на окружающую среду. Это позволяет утилизировать сотни тысяч тонн огненножидких шлаков силикомарганца и разработать эффективные конструкционные материалы, способные заменить металлы, нерудные строительные материалы естественного происхождения, бетоны, каменное литье, пластмассы и огнеупоры. **Цель статьи** — изучение структуры и свойств строительных материалов и изделий из шлаков электропечного силикомарганца. **Выводы.** Шлаки от выплавки силикомарганца относятся к категории кислых. Модуль их основности находится в пределах 0,47–0,52. Состав шлака расположен в ликвационной области SiO₂ вблизи линии выделения кристаллита с распространением в область кристаллизации волластонита, согласно тройной системе MnO-CaO-SiO₂, что, учитывая их стабильность, позволяет разработать технологии производства строительных материалов (щебня, песка, гранулированных шлаков и др.) и изделий (фундаментных блоков, дорожных плит, контейнеров для перевозки и хранения опасных отходов и др.).

Ключевые слова: шлаки силикомарганца, структура и свойства огненножидких шлаков, химический состав шлаков, строительные материалы и изделия, прочностные свойства шлаколитых изделий

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ НА ОСНОВІ ШЛАКІВ СИЛІКОМАРГАНЦЮ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н, проф.,

ЕЛИСЕЕВА М. А.^{2*}, к. т. н.,

НЕВЕДОМСКИЙ В. А.³, к. т. н.,

ЩЕРБАК С. А.⁴, д. т. н., проф.

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (056) 745 23 72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра реконструкції та управління в будівництві, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (096) 377 01 36, e-mail: SMU.TGO@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-4474-3255

³ Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (050) 157 92 67, e-mail: nevedomsky47@gmail.com

⁴ Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (095) 243 32 09, e-mail: aspirant@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0346-4436

Анотація. Постановка проблеми. Наразі особливої актуальності набули питання впровадження у виробництво будівельних матеріалів та виробів ресурсозберігальних видів техніки і технології; комплексного використання сировини і матеріалів, що виключають або істотно знижують їх шкідливий вплив на навколишнє

середовище. Це дозволяє утилізувати сотні тисяч тонн вогнянорідких шлаків силікомарганцю і розробити ефективні конструкційні матеріали, здатні замінити метали, нерудні будівельні матеріали природного походження, бетони, кам'яне лиття, пластмаси і вогнетривки. **Мета статті** — вивчення структури та властивостей будівельних матеріалів і виробів із шлаків електропідного силікомарганцю. **Висновки.** Шлаки від виплавки силікомарганцю належать до категорії кислих. Модуль їх основності перебуває в межах 0,47–0,52. Склад шлаку знаходиться в ліквідаційній області SiO_2 поблизу лінії виділення кристобаліту з поширенням в область кристалізації воластоніту, згідно з потрійною системою MnO-CaO-SiO_2 , що, з огляду на їх стабільність, дозволяє розробити технології виробництва будівельних матеріалів (щебеню, піску, гранульованих шлаків та ін.) і виробів (фундаментних блоків, дорожніх плит, контейнерів для перевезення і зберігання небезпечних відходів та ін.).

Ключові слова: шлаки силікомарганцю, структура та властивості вогнянорідких шлаків, хімічний склад шлаків, будівельні матеріали та вироби, міцнісні властивості шлаколитих виробів

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS BASED ON SILICON MANGANESE SLAGS

BOLSHAKOV V. I.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
YELISIEIEVA M. O.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.)*,
NEVEDOMSKIY V. O.³, *Cand. Sc. (Tech.)*,
SHCHERBAK S. A.⁴, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

¹ Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskiy St., 24 a, Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine, tel. + 38 (056) 745-23-72, email: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID 0000-0003-0790-6473

^{2*} Department of Reconstruction and Management in Construction, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskiy St., 24 a, Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine, tel. +38 (096) 377 01 36, e-mail: SMU.TGO@yandex.ua, ORCID 0000-0003-4474-3255

³ Department of Building Materials, Products and Structures Technology, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskiy St., 24 a, Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine, tel. +38 (050) 157 92 67, e-mail: nevedomsky47@gmail.com

⁴ Department of Building Materials, Products and Structures Technology, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskiy St., 24 a, Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine, tel. +38 (095) 243 32 09, e-mail: aspirant@mail.pgasa.dp.ua, ORCID 0000-0003-0346-4436

Summary. Raising of problem. Currently of particular relevance was given to the matter of introduction in manufacture of building materials and products, resource-saving techniques and technologies; integrated use of raw materials and materials that prevent or significantly reduce their harmful impact on the environment. This allows you to recycle hundreds of thousands of tons of the fiery liquid slags of silicon manganese and to develop effective structural materials that can replace metals, non-metallic building materials of natural origin, concretes, cast stone, plastics and refractories. **Purpose.** The study of the structure and properties of building materials and products from electric furnace slag of silicon manganese. **Conclusion.** Slags from the smelting of silicon manganese are classified as acidic. Their lime factor is in the range of 0.47–0.52. The composition of the slag located in the heterogeneous region SiO_2 near the line of separation of cristobalite spread to the crystallization of wollastonite, according to the ternary system MnO-CaO-SiO_2 , which in consideration of their stability, allows the development of technology of building materials (gravel, sand, granulated slag, etc.) and products (foundation blocks, road slabs, containers for transportation and storage of hazardous waste, and others).

Keywords: silicon manganese slags, structure and properties of the fiery-liquid slags, the chemical composition of the slags, building materials and products, the strength properties of slagcast products

Постановка проблеми. В настоящее время особую актуальность приобрели вопросы внедрения в производство ресурсосберегающих видов техники и технологии; комплексного использования сырья и материалов, исключающие или существенно снижающие их вредное воздействие на окружающую среду.

Комплексное использование минерального сырья тесно связано с проблемой охраны природы, а одним из

важных факторов её защиты является разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий, позволяющих утилизировать сотни тысяч тонн огненножидких шлаков силікомарганца [11–14]. Их использование для производства строительных материалов и изделий способствует решению комплекса важных народнохозяйственных задач: экономии сырья, тепловой энергии и разработки эффективных конструкционных

материалов, способных заменить металлы, нерудные строительные материалы естественного происхождения, бетоны, каменное литье, пластмассы и огнеупоры [13].

Цель статьи — изучение структуры и свойств строительных материалов и изделий из шлаков электропечного силикомарганца.

Изложение основного материала.

Выход шлаков ферросплавного производства на предприятиях Украины приближается к 0,9 млн т в год [1]. Затвердевшие шлаки дробят, сортируют, перерабатывают на щебень и песок для дорожного строительства. Жидкие шлаки подвергают грануляции и используют в строительстве и собственном производстве как сырьевые материалы [10]. По химическому составу шлаки товарного силикомарганца относятся к системе $\text{SiO}_2\text{-MnO-CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-(Na, K)}_2\text{O}$. Среднестатистическое содержание компонентов в шлаках силикомарганца ОАО НЗФ составило: 50,56 % SiO_2 ; 14,9 % CaO , 4,39 % MgO , 15,12 % MnO . Пределы содержаний остальных компонентов: 1,7-10,5 % $\text{(Na,K)}_2\text{O}$, 8-10 % Al_2O_3 , 2-3 % FeO , 0,6-1,2 % S^{2-} . Среднеквадратичное отклонение при статистической обработке около 1300 серийных рентгеноспектральных анализов составляло (масс.%) 0,29 SiO_2 , 1,34 CaO , 0,55 MgO , 1,65 MnO . Состав шлака расположен в ликвационной области SiO_2 вблизи линии выделения кристобалита с распространением в область кристаллизации волластонита, согласно тройной системе MnO-CaO-SiO_2 [3; 9; 10]. Закристаллизованный шлак силикомарганца практически насыщен SiO_2 , а марганец входит в силикатное марганцевое стекло.

Минеральная составляющая продуктов переработки используется для устройства оснований дорожных одежд, служит инертным наполнителем для закладки в горные выработки. Металлопродукт, извлеченный из отвального шлака, направляют на переплавку [9–12].

Как показали исследования, шлаки от выплавки силикомарганца относятся к категории кислых. Модуль их основности

находится в пределах 0,47...0,52 [2]. Вследствие этого они обладают низкой кристаллизационной способностью. Так как в шлаках силикомарганца содержится повышенное количество SiO_2 , жидкотекучесть их в сравнении с основными шлаками (например, с доменными комбината им. Петровского) недостаточно высокая. Из этого следует, что шлаки силикомарганца могут вспучиваться [9].

Для определения области применения гранулированных шлаков силикомарганца в строительстве важно определить их зерновой состав. Он является основной качественной характеристикой в случае применения гранулированных шлаков в качестве мелкого заполнителя при производстве бетонов и при отсыпке территорий.

Гранулированные шлаки силикомарганца содержат не только песчаные (< 5 мм) частицы, но и зерна крупностью 5–10; 10–20; 20–40; даже 40–70 мм. Содержание зерен крупностью более 5 мм не превышает 15 %, а пылевидных частиц не более 7 %.

Изучение колебания химического состава шлака в зависимости от состава исходных сырьевых материалов и технологических факторов выплавки силикомарганца показало, что повышение содержания в исходных материалах Al_2O_3 приводит не только к увеличению содержания глинозема в шлаке, но и к общему объему выхода шлака. Оксид кальция практически полностью переходит из шихты в шлаковую фазу, а повышение отношения $\text{MgO/Al}_2\text{O}_3$ снижает выход шлака. Из технологических факторов на колебание химического состава шлака, особенно содержания MnO , в наибольшей мере оказывают влияние характер распределения слоев первичного шлака, коксового слоя, конечного шлака и металла, который определяется в зависимости от стабильности перепада температур по рудотермической печи, продолжительности выхода шлака, диаметра летки печи [5; 6].

С целью изучения температурной зависимости вязкости, шлака были созданы установка и метод измерения вязкости основанный на принципе нарушения резонанса переменного тока при трении слоев расплава и погружаемого в него шпинделя. Зависимость вязкости шлака Si-Mn от его химического состава подчиняется общим закономерностям: увеличение Al_2O_3 в составе шлака повышает его вязкость, а щелочных оксидов и закиси марганца — ее снижают; изменение суммарного содержания щелочей от 5,7 до 4,4 масс.% при одновременном увеличении CaO от 12,8 до 15,8 масс.% и Al_2O_3 от 8,1 до 10,4 масс.% при почти одинаковом содержании SiO_2 , MgO и MnO снижало вязкость шлаков при температуре 1450 °C с 0,81 до 0,61 Па·с. Температурная зависимость вязкости шлака свидетельствует о том, что расплав шлака Si-Mn является существенно более коротким, чем промышленный шлакоситалл и каменное литье, а жидкотекучесть шлаков силикомарганца выше, чем у каменного литья [7; 8].

Низкая вязкость и высокая жидкотекучесть расплава шлака в интервале 1500-1380 °C и резкое нарастание вязкости в интервале 1380-1320 °C, обусловленное упорядочением структуры расплава, позволило научно обосновать метод формования изделий из огненножидких шлаков — высокотемпературное литье [2; 4; 15].

Поверхностное натяжение и плотность высокотемпературного расплава шлака силикомарганца с понижением температуры отбора и закалки огненножидкого шлака от температуры 1500 до 1200 °C увеличивается от 455 до 479 кДж/м² и от 2820 до 2980 кг/м³ соответственно.

Для изучения структурно-фазовых превращений шлаков силикомарганца в зависимости от температурно-временных и других факторов были использованы методы дифференциально-термического, рентгено-фазового, локального рентгено-спектрального анализов, массовой кристаллизации, ЭПР, а также химические методы, петрография,

электронная и световая, в проходящем и отраженном свете, микроскопия.

Отбор проб шлаков при различных температурах (1480, 1420, 1350 и гранулированного), изучение их кристаллизационной способности показали, что шлак силикомарганца обладает высокой кристаллизационной способностью, зависящей от теплового прошлого. Первой кристаллической фазой при температурах около 1500 °C формируется MnO, который при дальнейшем пироксенообразовании играет положительную каталитическую роль.

Температурная зависимость кристаллизационной способности была изучена в интервале 1200-500 °C для шлака с различным тепловым прошлым.

Было установлено, что основные температурные интервалы фазовых превращений шлаков, расплавленных и гранулированных, близки, но зависят от теплового прошлого шлака и смещаются в область более низких температур для шлака, частично охлажденного уже в расплавленном состоянии. Поэтому дальнейший режим кристаллизации может быть скорректирован в зависимости от температуры отбора расплава шлака. Основными кристаллическими фазами являются минералы группы моноклинных или триклинных пироксенов и группы плагиоклаза.

Методом ЭПР установлено, что марганец как при высоких температурах расплава, так и в процессе кристаллизации сохраняется в низшей степени окисления Mn(II). Кроме того, методом локального рентгено-спектрального анализа показано, что марганец максимально сконцентрирован в кристаллах основной кристаллической фазы. На модельных составах Mg-Ca — моноклинного пироксена (диопсида) показана зависимость частичного и полного Ca - Mn(II) и Mg - Mn(II) замещения.

В результате внедрения Mn(II) в решетку диопсида обеспечивается высокая степень закристаллизованности шлаков (до 96 масс.%). После выделения Mn-содержащего пироксена, что обеспечивает 70 масс.% кристаллической фазы,

остаточная стекловидная фаза почти полностью соответствует стехиометрическому составу (Na, K) — плагиоклазу.

По мере замены CaO на MnO в диопсиде происходит постепенный переход от кальциевых к магнезиальным Mn-содержащим моноклинным пироксенам, а по мере замены MgO на MnO от моноклинных типа йогансенита Ca(Mg, Mn)[Si₂O₆] к триклинным типа бустамита Ca₃Mn₃[Si₂O₉]. Частичная (50 масс.%) замена CaO на MnO способствует стеклообразованию, а полная замена CaO на MnO вызывает объемную кристаллизацию непосредственно из расплава. MnO способствует стеклообразованию бесщелочных стекол при замене им MgO, что подтверждает модифицирующую роль оксида марганца как плавня. Кристаллизационная способность бесщелочных стекол состава диопсида снижается при введении до примерно 50 масс.% MnO взамен CaO, а при введении большего количества MnO и во всем интервале замены MgO на MnO — повышается.

Соблюдение технологических режимов при получении шлаколитых изделий

обеспечивает благоприятное для свойств материала сочетание кристаллизации с моментами стеклообразования. Полное формирование структуры материала обеспечивает его высокие, а в комбинации — во многом уникальные физико-химические и — механические свойства (плотность, водопоглощение, кислотостойкость, щелочестойкость и др.) [1; 9].

Выводы. Шлаки от выплавки силикомарганца относятся к категории кислых. Модуль их основности находится в пределах 0,47–0,52. Состав шлака расположен в ликвидационной области SiO₂ вблизи линии выделения кристобалита с распространением в область кристаллизации волластонита, согласно тройной системе MnO-CaO-SiO₂, что, учитывая их стабильность, позволяет разработать технологии производства строительных материалов (щебня, песка, гранулированных шлаков и др.) и изделий (фундаментных блоков, дорожных плит, контейнеров для перевозки и хранения опасных отходов и др.).

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Современное состояние в переработке жидких шлаков ферросплавного производства / В. И. Большаков, М. А. Елисеева, Н. В. Спильник, С. А. Щербак, В. С. Куцин, В. А. Неведомский // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. / Харків. нац. ун-т буд-ва та архітектури. – Харків, 2010. – Вип. 61. – С. 336–340.
2. Углеродотермия шлаков силикомарганца и пути их применения / В. И. Большаков, В. С. Куцин, В. А. Неведомский, М. А. Елисеева, О. С. Щербак, С. А. Щербак // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2011. – № 5. – С. 4–8.
3. Физико-химические процессы образования шлака силикомарганца / В. И. Большаков, В. С. Куницын, В. А. Неведомский, М. А. Елисеева, О. С. Щербак, С. А. Щербак // Theoretical foundations of civil engineering : Polish-Ukrainian Transactions (conference), Warsaw, September, 2011 / ed. by W. Szczesniak. – Warsaw, 2011. – Vol. 19. – P. 345–350.
4. Эффективные изделия и конструкции из жидких шлаков силикомарганца / В. И. Большаков, В. С. Куцин, В. А. Неведомский, О. С. Щербак, С. А. Щербак // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 59 : Стародубовские чтения. – С. 10–15.
5. Куцин В. С. Производство марганцевого магнезиального агломерата с использованием обогащенной никопольской марганцевой руды и отвального магнезиально-силикатного шлака выплавки ферроникеля / В. С. Куцин, М. И. Гасик // Сталь. – 2012. – № 1. – С. 22–28.
6. Куцин В. С. Теоретическое обобщение, исследование и разработка ресурсо- энергосберегающих процессов и технологий производства марганцевых ферросплавов в высокоомощных электропечах : дис. ... доктора техн. наук : 05.16.02 / Куцин Владимир Семенович. – Днепропетровск, 2012. – 395 с.
7. Лебедева Г. А. Каменное литье как радиационно-стойкий материал / Г. А. Лебедева, Г. П. Озерова // Строительные материалы. – 1998. – № 5. – С. 14–15.
8. Липовский И. Е. Камнелитейное производство / И. Е. Липовский, В. А. Дорофеев. – Москва : Металлургия, 1965. – 199 с.

9. Металлургические шлаки в строительстве / В. И. Большаков, В. З. Борисовский, В. Д. Глуховский, П. В. Кривенко, А. П. Никифоров, С. А. Щербак. – Днепропетровск : ПГАСА, 1999. – 113 с.
10. Напрямки і перспективи використання відходів металургійної, гірничорудної та хімічної промисловості в будівництві / В. І. Большаков, Г. М. Бондаренко, А. І. Головка, О. Ю. Зільберман, П. В. Кривенко, В. О. Неведомський, О. П. Нікіфоров, М. І. Шімон, С. А. Щербак. – 2-е вид., виправл. та доповн. – Дніпропетровськ : Gaudeamus, 2000. – 140 с.
11. Неведомский В. А. Специальные виды литья из огненно-жидких шлаков для хранения радиоактивных и токсичных отходов / В. А. Неведомский, Н. С. Михайленко // Экология и промышленность. – 2008. – № 4. – С. 77–83.
12. Неведомский В. А. Энергосберегающая технология стеклокристаллических изделий из огненно-жидких шлаков / В. А. Неведомский, Н. И. Минько // Сталь. – 1996. – № 2. – С. 70–73.
13. Никопольские ферросплавы. К 75-летию акад. НАН Украины М. И. Гасика / М. И. Гасик, В. С. Куцин, Е. В. Лапин, В. И. Ольшанский, И. И. Люборец ; под ред. В. С. Куцин. – Днепропетровск : Систем. технологии, 2004. – 272 с.
14. Смирнов Л. А. Современное состояние переработки шлаков ферросплавного производства / Л. А. Смирнов, А. А. Грабеклис, Б. Л. Демин // Сталь. – 2009. – № 1. – С. 86–89.
15. Щербак О. С. Особенности армированных шлаколитых фундаментных блоков / О. С. Щербак // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2015. – № 1. – С. 45–50.

REFERENCES

1. Bolshakov V.I., Yeliseeva M.O., Spilnik N.V., Shcherbak S.A., Kutsin V.S. and Nevedomskij V.O. *Sovremennoe sostoyanie v pererabotke zhidkikh shlakov ferrosplavnogo proizvodstva* [Current status in the processing of liquid waste of ferroalloy production] *Naukovyi visnyk budivnytstva* [Scientific Bulletin of Construction]. 2010, iss. 61, pp. 336-340. (in Russian).
2. Bolshakov V.I., Kutsin V.S., Nevedomskij V.O., Yeliseeva M.O., Shcherbak O.S. and Shcherbak S.A. *Uglerodotermiya shlakov silikomargantsa i puti ikh primeneniya* [Carbon thermal process of silicon manganese slags and the ways of their application]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniproprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2011, iss. 5, pp. 4-8. (in Russian).
3. Bolshakov V.I., Kutsin V.S., Nevedomskij V.O., Yeliseeva M.O., Shcherbak O.S. and Shcherbak S.A. *Fiziko-khimicheskie protsessy obrazovaniya shlaka silikomargantsa* [Physical and mechanical processes of slag silicon manganese formation]. *Theoretical foundations of civil engineering: Polish-Ukrainian Transactions (conference)*. Warsaw, 2011, vol. 19, pp. 345-350. (in Russian).
4. Bolshakov V.I., Kutsin V.S., Nevedomskij V.O., Shcherbak O.S. and Shcherbak S.A. *Effektivnye izdeliya i konstruktsii iz zhidkikh shlakov silikomargantsa* [Effective products and structures from liquid silicon manganese slags]. *Stroitel'stvo, materilovedenie, mashynostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. 2011, iss. 59, vol. 2, pp. 10-14. (in Russian).
5. Kutsin V.S. and Gasik M.I. *Proizvodstvo margantseвого magnezial'nogo aglomerata s ispolzovaniem obogashchennoj nikopolskoj margantsevoj rudy i otval'nogo magnezial'no-silikatnogo shlaka vyplavki ferronikelya* [Production of manganese sinter manganese with enriched Nikopol manganese ore and dump magnesium-silicate slag smelting ferronickel]. *Stal* [Steel]. 2012, no 1, pp. 22-28. (in Russian).
6. Kutsin V.S. *Teoreticheskoe obobshchenie, issledovanie i razrabotka resurso- energosberegayushchikh protsessov i tekhnologij proizvodstva margantsevykh ferrosplavov v vysokomoshchnykh elektropetchakh: dis. doktora tekhn. nauk: 05.16.02* [Theoretical generalization, research and development resource of energy saving processes and technologies for production of manganese ferro-alloys in high-power electric furnaces: Dr. Sc. (Tech.) Dissertation: 05.16.02]. Dnepropetrovsk, 2012, 395 p. (in Russian).
7. Lebedeva G.A. and Ozerova G.P. *Kamennoe lit'e kak radiatsianno-stoykij material* [Stone cast as a radiation-resistant material]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 1998, no 5, pp. 14-15. (in Russian).
8. Lipovskij I.Ye. and Dorofeev V.A. *Kamneliteynoye proizvodstvo* [Stone casting production]. Moskva: Metallurgiya, 1965, 199 p. (in Russian).
9. Bolshakov V.I., Borisovskij V.Z., Glukhovskij V.D., Krivenko P.V., Nikiforov O.P. and Shcherbak S.A. *Metallurgicheskiye shlaki v stroitelstve* [Metallurgical slags in construction]. Dnepropetrovsk: PGASA, 1999, 114 p. (in Russian).
10. Bolshakov V.I., Bondarenko H.M., Holovko A.I., Zilberman O.Yu., Kryvenko P.V., Nevedomskiy V.O., Nikiforov O.P., Shimon M.I. and Shcherbak S.A. *Napriamky i perspektyvy vykorystannia vidkhodiv metalurhiinoi, hirnychorudnoi ta khimichnoi promyslovosti v budivnytstvi* [Areas and perspectives of application of metallurgical, ore mining and chemical industry wastes in construction]. Dnipropetrovsk: Gaudeamus, 2000, 140 p. (in Ukrainian).

11. Nevedomskij V.O. and Mikhailenko N.S. *Spetsialnye vidy lit'ya iz ognenno-zhidkikh shlakov dlya khraneniya radioaktivnykh i toksichnykh otkhodov* [Special types of casting fiery liquid waste storage of radioactive and toxic waste]. *Ekologiya i promyshlennost* [Ecology and Industry]. 2008, no 4, pp. 77-83. (in Russian).
12. Nevedomskij V.O. *Energoberegayushchaya tekhnologiya steklokristallicheskikh izdeliy iz ognenno-zhidkikh shlakov* [Energy saving technology of glass-ceramic products fiery-liquid slags]. *Stal* [Steel]. 1996, no 2, pp. 70-73. (in Russian).
13. Gasik M.I., Kutsin V.S., Lapin E.V., Ol'shanskij V.I. and Lyuborets I.I. *Nikopolskie ferrosplavy. K 75-letiyu akad. NAN Ukrainy M.I. Gasika* [Nikopol Ferroalloy. The 75th anniversary of academician of NAS of Ukraine M.I. Gasik]. Dnepropetrovsk: Sistem Technologii, 2004, 272 p. (in Russian).
14. Smirnov L.A., Grabeklis A.A. and Demin B.L. *Sovremennoe sostoyanie pererabotki shlakov ferrosplavnogo proizvodstva* [The present state of slag processing ferroalloy production]. *Stal* [Steel]. 2009, no 1, pp. 86-89. (in Russian).
15. Shcherbak O.S. *Ossobennosti armirovannykh shlakolitykh fundamentnykh blokov* [Features of reinforced slag cast foundation blocks]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniproprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2015, iss. 1, pp. 45-50. (in Russian).

Рецензент: д-р. т.н., проф. Седин В. Л.

Поступила в редколлегию: 11.04.2016 г. Принята к печати 24.04.2016 г.

УДК 69.05:711.582

ФАКТОРИ, ЩО ЗДІЙСНЮЮТЬ ВИЗНАЧАЛЬНИЙ ВПЛИВ НА ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЙНО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ БУДІВНИЦТВА ДОСТУПНОГО ЖИТЛА

БОЛЬШАКОВ В. І.¹, *д. т. н., проф.*,
КРАВЧУНОВСЬКА Т. С.^{2*}, *д. т. н., проф.*,
БРОНЕВИЦЬКИЙ С. П.³, *к. т. н.*

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: press.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра планування і організації виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-92, e-mail: kts789@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

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

Анотація. *Мета.* Систематизація і формалізація організаційно-технологічних та економічних факторів, що відображають специфічні особливості будівництва доступного житла і здійснюють суттєвий вплив на вартість будівельної продукції та тривалість виконання робіт. *Методика.* Обґрунтування переліку факторів, що здійснюють визначальний вплив на вартість і тривалість будівництва доступного житла, за допомогою методів експертних оцінок. *Результати.* Сформовано систему організаційно-технологічних і економічних факторів, які відображають специфічні особливості будівництва доступного житла та суттєво впливають на вартість такої будівельної продукції та тривалість робіт. *Наукова новизна.* Дістала по-дальший розвиток система організаційно-технологічних і економічних факторів, які впливають на показники ефективності організаційно-технологічних рішень будівництва доступного житла. *Практична значимість.* Упровадження наукових та практичних результатів дослідження в діяльність проектно-будівельних організацій у процесі організаційно-технологічного проектування будівництва доступного житла дозволить підвищити рівень обґрунтованості прийнятих рішень.

Ключові слова: *житлове будівництво, доступне житло, тривалість будівництва, вартість будівництва, містоформівні фактори*

ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОСТУПНОГО ЖИЛЬЯ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, *д. т. н., проф.*,
КРАВЧУНОВСКАЯ Т. С.^{2*}, *д. т. н., проф.*,
БРОНЕВИЦКИЙ С. П.³, *к. т. н.*

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: press.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра планирования и организации производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-92, e-mail: kts789@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

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

Аннотация. *Цель.* Систематизация и формализация организационно-технологических и экономических факторов, отражающих специфические особенности строительства доступного жилья и существенно влияющих на стоимость строительной продукции и продолжительность производства работ. *Методика.* Обоснование перечня факторов, осуществляющих определяющее влияние на стоимость и продолжительность строительства доступного жилья, с помощью методов экспертных оценок. *Результаты.* Сформирована система организационно-технологических и экономических факторов, которые отражают специфические особенности строительства доступного жилья и существенно влияют на стоимость такой строительной продукции и продолжительность производства работ. *Научная новизна.* Получила дальнейшее развитие система организационно-технологических и экономических факторов, которые влияют на показатели эффективности организационно-технологических решений строительства доступного жилья. *Практическая значимость.* Внедрение научных и практических результатов исследования в деятельность проектно-

строительных организаций в процессе организационно-технологического проектирования строительства доступного жилья позволит повысить уровень обоснованности принимаемых решений.

Ключевые слова: жилищное строительство, доступное жилье, продолжительность строительства, стоимость строительства, градоформирующие факторы

FACTORS THAT HAVE A DECISIVE EFFECT ON THE INDICATORS OF EFFICIENCY OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DECISIONS FOR AFFORDABLE HOUSING

BOLSHAKOV V. I.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KRAVCHUNOVSKA T. S.^{2*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
BRONEVYTSKYI S. P.³, *Cand. Sc. (Tech.)*

¹ Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment "Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, Tel. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: press.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} 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 49005, Ukraine, phone +38 (0562) 46-93-92, e-mail: kts789@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

³ 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

Abstract. Purpose. Systematization and formalization of organizational, technological and economic factors reflecting the specific features of the construction of affordable housing and performing substantial impact on the cost of building production and the duration of works. **Methodology.** Substantiation of the list of factors exercising a decisive influence on the cost and duration of construction of affordable housing, using the methods of expert estimations. **Findings.** It was formed the system of organizational and technological and economic factors that reflect specific features of construction of affordable housing and carry out a significant impact on the cost of such construction products and the duration of works. **Originality.** Further development of the system of organizational-technological and economic factors that affect the performance indicators organizational and technological decisions of the construction of affordable housing. **Practical value.** Implementation of scientific and practical research results in the activities of design and construction organizations in the process of organizational and technological design of affordable housing will improve the validity of decisions.

Keywords: residential construction, affordable housing, duration of construction, cost of construction, town-planning design characteristic

Постановка проблеми. Протягом другої половини ХХ сторіччя відбувалось активне розширення територій міст, зумовлене ростом виробничої бази і чисельності міського населення.

Оцінка сучасних тенденцій свідчить про пріоритетність компактного розвитку великих міст у ХХІ столітті, що обумовлено об'єктивними факторами. До найбільш вагомих належать: висока вартість земельних ділянок; необхідність економії енергоресурсів та зумовлені цим тенденції до зменшення протяжності інженерних мереж, дорожньо-транспортної мережі; наявність значних територій в межах міст, зайнятих застарілою амортизованою забудовою.

До числа спільних для більшості великих міст України, таких як Київ, Харків, Одеса, Дніпропетровськ, Запоріжжя, Львів, проблем їх розвитку належать:

– житлова проблема, зумовлена зростанням постійного населення і необхідністю розміщення додаткових обсягів житлового будівництва в існуючих межах міст;

– забезпеченість об'єктами соціальної інфраструктури відстає від нормативних вимог, особливо в районах, віддалених від центру міста;

– інтенсивне зростання автомобілізації;

– зростання диспропорцій між розселенням та місцями докладання праці, що загострює транспортні проблеми;

– значне збільшення потреб електропостачання та тепlopостачання для існуючої та перспективної забудови;

– надмірна концентрація офісних приміщень у центральній частині міст, спотворення традиційного характеру історичної забудови та знецінення пам'яток

культурної спадщини у центральній частині міст;

– відставання дорожньо-транспортного будівництва та інженерного забезпечення від існуючих потреб.

На сьогодні великі міста України значно відстають від європейських міст за житловою забезпеченістю та іншими показниками комфортності життя населення.

Зважаючи на тенденцію зростання чисельності міського населення відносно сільського, необхідність забезпечення стійкого розвитку великих міст в існуючих межах, структуру і обсяги існуючого житлового фонду, досить високий рівень його фізичного зносу, попит на нове житло, ціни на житлову нерухомість, обмежені можливості державного бюджету, соціальну диференціацію населення та інвестиційні можливості придбання житла населенням, бачиться актуальною проблема будівництва доступного і соціального житла. При цьому відсутнє вичерпне наукове обґрунтування прогнозованих вартості і тривалості будівництва доступного житла, яке б урахувало містоформівні особливості територій великих міст та комплексний вплив організаційно-технологічних і економічних факторів [1–5; 7; 9; 10–14].

Аналіз досліджень та публікацій.

Проблемі формування та обґрунтування раціональних ресурсозберігальних організаційно-технологічних рішень будівництва цивільних будівель присвячено наукові праці Є. Ю. Антипенка, А. І. Білокося, Д. Ф. Гончаренка, О. А. Гусакова, В. І. Доненка, Е. К. Завадскаса, В. М. Кірнос, О. М. Лівінського, О. І. Менейлюка, П. П. Олійника, О. М. Пшінька, І. А. Соколова, В. І. Торкатюка, О. А. Тугая, Р. І. Фокова, В. К. Черненко, В. Т. Шаленного, І. В. Шумакова, Л. М. Шутенка та інших учених.

Завданню забезпечення надійності та безпечної експлуатації існуючого житлового фонду присвячено праці В. І. Большакова, В. О. Галушко, М. М. Дьоміна, А. Д. Єсипенко, В. Р. Млодецького, О. Ф. Осипова, А. В. Радкевича, В. В. Савйовського, М. В. Савицького, С. В. Шатова та інших дослідників.

Питання підвищення інвестиційної привабливості житлового будівництва досліджували В. Ю. Божанова, В. Т. Вечеров, І. Л. Київський, В. О. Поколенко, В. І. Торкатюк, Р. Б. Тяг, С. А. Ушацький та інші.

Результати виконаного аналізу наукових праць провідних учених і спеціалістів у галузі проектування, будівництва та експлуатації міського житлового фонду дозволили зробити висновок про відсутність вичерпного наукового обґрунтування прогнозованих техніко-економічних показників проектів будівництва доступного житла, заснованого на врахуванні містоформівних особливостей територій великих міст і комплексного впливу визначальних організаційно-технологічних та економічних факторів [6; 8].

Мета статті — систематизація і формалізація організаційно-технологічних та економічних факторів, що відображають специфічні особливості будівництва доступного житла і суттєво впливають на вартість будівельної продукції та тривалість робіт.

Виклад матеріалу. У будівництві житла одним із основних чинників виступає його доступність, що визначається, перш за все, вартістю житлового будівництва, яка, у свою чергу, зумовлена економічністю, а саме: економічністю архітектурно-технічних рішень, економічністю зведення будівлі, економічністю в процесі експлуатації (експлуатаційні витрати), вартістю зносу і вартістю відтворення (заміщення) будівлі.

На основі експертних даних можна виділити основні чинники, що впливають на зростання вартості будівництва:

– низький рівень організації будівельного процесу, логістики і розрахунків у будівництві, що спричиняє втрати від браку та простої в сумі до 12–15 % вартості будівництва;

– помилки в проектуванні, низька якість проектно-кошторисної документації;

– великі витрати на інженерну підготовку територій, недосконалість правил визначення витрат на підключення до інженерних мереж та головних джерел води, електроенергії, газу;

- зростання цін на будівельні матеріали, виробу і конструкції;

- часта зміна підрядників, недосконалість конкурсних процедур підбору підрядників;

- часті зупинки виробничого циклу і консервація об'єктів через відсутність фінансування; витрати на відновлення будівництва спричинюють втрати до 10 % кошторисної вартості;

- обтяження забудовників різними платежами на розвиток інфраструктури або передачею частини збудованого житла.

До факторів, які безумовно впливатимуть на вартість і тривалість будівництва доступного житла, належать архітектурно-планувальні рішення, конструктивні системи будівель, матеріал носійних конструкцій, рівень інженерного забезпечення будівлі, клас енергоефективності будівлі. Оскільки ці чинники будуть застосовуватись у подальшому дослідженні для відбору проектів будівництва доступного житла, за даними яких буде здійснюватись моделювання зв'язку між вартістю і тривалістю будівництва доступного житла та визначальними організаційно-технологічними й економічними факторами, та значення яких практично однакове для всіх об'єктів, прийнято рішення в подальших моделях їх не застосовувати.

На основі вивчення літературних джерел та аналізу проектної і виконавчої будівельної документації низки об'єктів доступного житла складено перелік факторів, які мають впливати на вартість і тривалість будівництва доступного житла:

- містоформівні особливості та інвестиційна привабливість міських територій (x_1);

- поверховість будівлі (x_2);

- загальна площа будівлі (x_3);

- будівельний обсяг будівлі (x_4);

- методи організації будівництва (x_5);

- стисненість будівельного майданчика (x_6);

- надійність організаційно-технологічних рішень (x_7);

- уніфікованість конструкцій (x_8);

- ступінь збірності будівель (x_9);

- наявність площ для складування і складання конструкцій (x_{10});

- технологічність проектних рішень (x_{11});

- довговічність будівлі (x_{12});

- продуктивність праці (x_{13});

- методи мотивації персоналу (x_{14}).

У зв'язку з недостатністю статистичних даних щодо пріоритетності впливу зазначених факторів на техніко-економічні показники проектів будівництва доступного житла, для прийняття обґрунтованого рішення щодо відбору зі складеного переліку факторів, які визначально впливають на вартість і тривалість будівництва доступного житла, доцільно застосувати методи експертних оцінок.

До оцінювання було залучено 25 експертів, до складу яких входили науковці вищих навчальних закладів будівельного профілю та фахівці проектно-будівельних організацій.

Застосовано процедуру колективних експертних оцінок. Експертні думки збирали шляхом заочного анкетного опитування. Експертизу здійснювали в один тур. Експертам було надіслано анкету з факторами, розташованими в довільному порядку. Кожному з факторів надано умовне позначення: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{14}$. Експертам було запропоновано розташувати ці фактори в порядку суттєвості їх впливу на вартість і тривалість будівництва доступного житла.

Для ранжування експерт має розташувати фактори в порядку, який йому видається найбільш доцільним, і присвоїти кожному з них числа натурального ряду – ранги. При цьому ранг 1 відповідає вищому ступеню значущості впливу під час відбору факторів, а ранг N — найменшому. Відповідно порядкова шкала, одержувана в результаті ранжування, повинна задовольняти умову рівності числа рангів N числу ранжованих факторів n .

Результати опитування експертів зведено в таблиці 1, 2.

Таблиця 1

Результати опитування експертів щодо впливу факторів на вартість будівництва доступного житла

Експерт и	Фактори														Сума
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	4	3	2	1	9	5	11	12	7	8	6	10	13	14	105
2	4	6	1	11	8	2	3	13	9	10	5	12	7	14	105
3	1	7	5	4	3	2	6	12	10	13	11	8	9	14	105
4	4	1	2	3	11	6	7	13	12	5	10	8	9	14	105
5	1	3	4	2	9	5	8	10	7	13	6	12	11	14	105
6	2	7	8	1	9	3	10	5	4	12	6	11	13	14	105
7	1	3	2	10	4	12	9	11	5	13	7	8	6	14	105
8	3	8	9	10	1	6	2	7	4	13	11	5	12	14	105
9	1	2	3	4	6	5	7	12	8	13	9	11	10	14	105
10	1	4	3	2	6	5	8	10	9	13	7	11	12	14	105
11	1	3	4	2	8	5	6	10	9	13	7	11	12	14	105
12	1	2	4	3	6	5	7	10	8	13	9	12	11	14	105
13	1	3	2	4	8	5	7	10	9	11	6	14	13	12	105
14	1	4	3	2	8	7	6	10	9	11	5	13	14	12	105
15	3	2	1	4	8	7	6	10	9	11	5	14	13	12	105
16	1	2	3	4	10	5	7	8	9	13	6	11	14	12	105
17	2	3	4	1	7	8	6	11	10	9	5	12	14	13	105
18	2	4	3	1	10	6	7	9	8	12	5	11	14	13	105
19	1	7	2	8	5	3	12	9	4	10	6	13	11	14	105
20	2	3	4	1	5	6	10	9	8	11	7	14	12	13	105
21	1	3	2	4	7	5	6	12	9	14	11	10	8	13	105
22	1	3	2	4	7	6	8	10	9	11	5	12	14	13	105
23	1	2	3	4	8	5	7	10	9	12	6	11	13	14	105
24	3	1	2	4	7	6	8	10	9	11	5	14	12	13	105
25	1	2	3	4	7	6	8	9	10	11	5	12	13	14	105
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
t_j	44	88	81	98	177	136	182	252	204	286	171	280	290	336	2625
Δ_j	-143,5	-99,5	-106,5	-89,5	-10,5	-51,5	-5,5	64,5	16,5	98,5	-16,5	92,5	102,5	148,5	0
Δ_j^2	20592,25	9900,25	11342,25	8010,25	1102,5	2652,25	30,25	4160,25	272,25	9702,25	272,25	8556,25	10506,25	22052,25	108159,5

На основі даних таблиць 1 і 2 визначено коефіцієнт конкордації думок експертів, який дорівнює 0,761 та 0,904 відповідно, що свідчить про досить високу узгодженість думок експертів.

Для оцінки значущості коефіцієнта конкордації застосовуємо критерій Пірсона (χ^2 -критерій), який дорівнює $\chi^2 = 247,325$ та $\chi^2 = 293,8$ відповідно.

Таблиця 2

Результати опитування експертів щодо впливу факторів на тривалість будівництва доступного житла

Експерти	Фактори														Сума
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	11	3	2	1	5	6	9	8	7	12	4	14	10	13	105
2	11	4	3	1	5	2	10	7	9	8	6	13	12	14	105
3	10	2	3	4	5	1	8	11	6	13	9	14	7	12	105
4	13	2	6	1	3	5	10	7	9	12	4	11	8	14	105
5	11	1	2	3	4	6	9	10	5	12	7	13	8	14	105
6	13	2	3	1	5	4	9	6	7	10	8	14	11	12	105
7	12	2	1	3	4	5	10	7	8	13	6	14	9	11	105
8	9	2	3	1	4	6	12	5	8	10	7	14	11	13	105
9	10	2	3	1	4	5	8	7	9	12	6	14	11	13	105
10	11	1	2	3	4	5	6	8	9	12	7	14	10	13	105
11	12	2	6	4	3	1	10	7	8	13	5	11	9	14	105
12	11	2	3	1	4	6	9	7	8	12	5	13	10	14	105
13	10	1	2	3	5	4	11	7	8	9	6	14	12	13	105
14	11	3	2	1	4	5	9	6	7	12	8	14	10	13	105
15	11	2	3	1	6	4	9	7	8	10	5	14	12	13	105
16	9	1	2	3	6	4	11	8	7	12	5	13	10	14	105
17	12	2	3	1	7	8	9	5	6	11	4	14	10	13	105
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
18	10	7	8	1	5	6	9	2	3	12	4	14	11	13	105
19	11	3	2	1	4	5	9	7	8	12	6	14	10	13	105
20	11	1	3	2	4	5	9	8	7	10	6	14	12	13	105
21	11	1	3	2	6	4	9	7	8	10	5	13	12	14	105
22	12	2	3	1	4	5	9	7	8	10	6	14	11	13	105
23	11	2	3	1	4	5	7	8	9	12	6	14	10	13	105
24	11	2	3	1	4	5	7	8	9	13	6	14	10	12	105
25	11	1	2	3	4	5	9	6	7	12	8	14	10	13	105
t_j	275	53	76	45	113	117	227	176	188	284	149	339	256	327	2625
Δ_j	87,5	-134,5	-111,5	-142,5	-74,5	-70,5	39,5	-11,5	0,5	96,5	-38,5	151,5	68,5	139,5	0
Δ_j^2	7 656,25	18 090,25	12 432,25	20 306,25	5 550,25	4 970,25	1 560,25	132,25	0,25	9 312,25	1 482,25	22 952,25	4 692,25	19 460,25	128 597,5

Табличне значення χ^2 -критерію для $P(\chi^2)=0,05$ та числа ступенів свободи $d.f.=14-1=13$ дорівнює $\chi_{табл}^2=22,36$.

Оскільки в обох випадках $\chi^2 > \chi_{табл}^2$, думки експертів вважаються достатньо узгодженими.

За даними таблиць 1 і 2 будуюмо діаграми сумарних рангів досліджуваних факторів (рис. 1 та 2 відповідно).

За даними рисунків 1 та 2, зважаючи на значення середнього рангу, яке дорівнює 187,5, можна зробити висновок, що з досліджуваних 14 факторів найбільший вплив на вартість будівництва доступного житла здійснюють фактори x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 ,

x_6, x_7, x_{11} , а на тривалість будівництва доступного житла — фактори $x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_8, x_9, x_{11}$, оскільки сумарні ранги цих факторів мінімальні.

Отже, фактори, що визначально впливають на вартість будівництва доступного житла, такі: містоформівні особливості та інвестиційна привабливість міських територій (x_1), поверховість будівлі (x_2), загальна площа будівлі (x_3), будівельний обсяг будівлі (x_4), методи організації будівництва (x_5), стисненість будівельного майданчика (x_6), надійність

організаційно-технологічних рішень (x_7), технологічність проектних рішень (x_{11}) (табл. 3). А фактори, що визначально впливають на тривалість будівництва доступного житла, такі: поверховість будівлі (x_2), загальна площа будівлі (x_3), будівельний обсяг будівлі (x_4), методи організації будівництва (x_5), стисненість будівельного майданчика (x_6), уніфікованість конструкцій (x_8), ступінь збірності будівель (x_9), технологічність проектних рішень (x_{11}) (табл. 4).

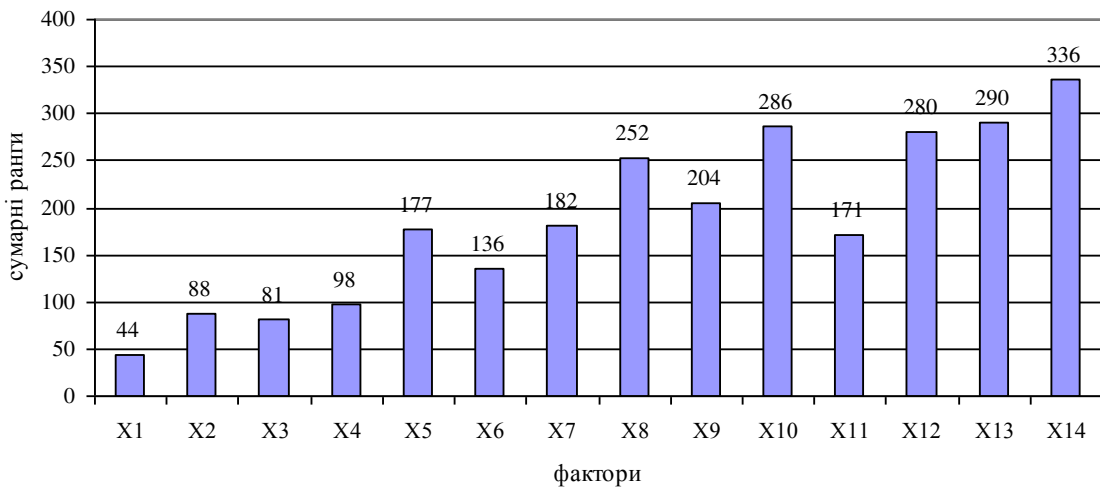


Рис. 1. Діаграма сумарних рангів досліджуваних факторів за результатами експертного оцінювання щодо їх впливу на вартість

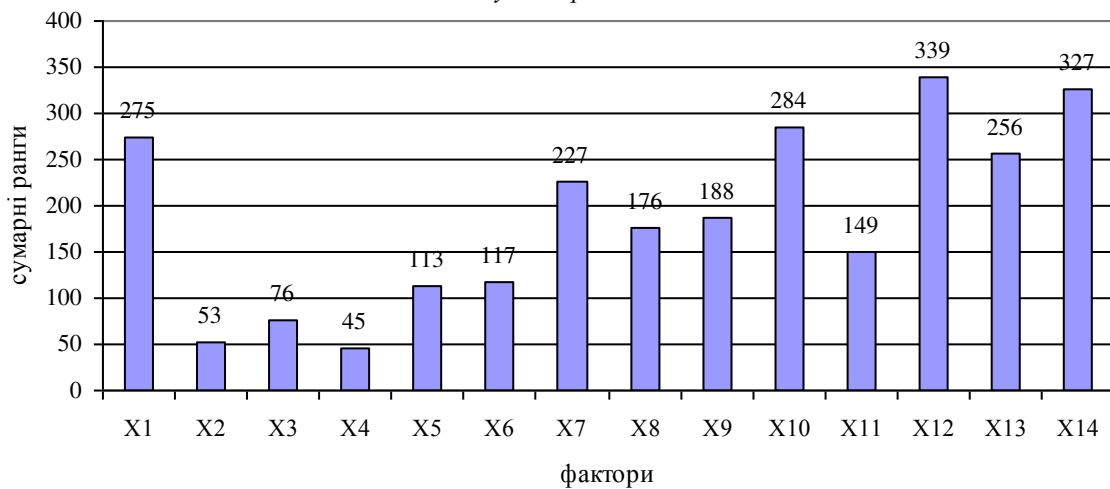


Рис. 2. Діаграма сумарних рангів досліджуваних факторів за результатами експертного оцінювання щодо їх впливу на тривалість

Таблиця 3

Фактори, що впливають на вартість будівництва доступного житла

№ з/п	Фактори	Ступінь впливу на вартість будівництва доступного житла		
		високий	середній	низький
1	Містоформівні особливості та інвестиційна привабливість міських територій	+		
2	Поверховість будівлі	+		
3	Загальна площа будівлі	+		
4	Будівельний обсяг будівлі	+		
5	Методи організації будівництва	+		
6	Стисненість будівельного майданчика	+		
7	Надійність організаційно-технологічних рішень	+		
8	Уніфікованість конструкцій		+	
9	Ступінь збірності будівель		+	
10	Наявність площ для складування і збирання конструкцій			+
11	Технологічність проектних рішень	+		
12	Довговічність будівлі			+
13	Продуктивність праці			+
14	Методи мотивації персоналу			+

Таблиця 4

Фактори, що впливають на тривалість будівництва доступного житла

№ з/п	Фактори	Ступінь впливу на тривалість будівництва доступного житла		
		високий	середній	низький
1	Містоформівні особливості та інвестиційна привабливість міських територій			+
2	Поверховість будівлі	+		
3	Загальна площа будівлі	+		
4	Будівельний обсяг будівлі	+		
5	Методи організації будівництва	+		
6	Стисненість будівельного майданчика	+		
7	Надійність організаційно-технологічних рішень		+	
8	Уніфікованість конструкцій	+		
9	Ступінь збірності будівель	+		
10	Наявність площ для складування і збирання конструкцій			+
11	Технологічність проектних рішень	+		
12	Довговічність будівлі			+
13	Продуктивність праці		+	
14	Методи мотивації персоналу			+

Для кількісної оцінки впливу вищезазначених факторів на вартість і тривалість будівництва доступного житла доцільно скористатися безрозмірними факторами, значення яких змінюються в межах від 0 до 1. При цьому якщо значення фактора наближається до 0, вплив фактора проявляється в мінімальному ступені, а

якщо значення фактора наближається до 1, то вплив фактора максимальний.

Висновки. Із застосуванням методів експертних оцінок сформовано систему організаційно-технологічних і економічних факторів, які відображають специфічні особливості будівництва доступного житла та суттєво впливають на вартість такої

будівельної продукції та тривалість факторів на вартість та тривалість виконання робіт. будівництва доступного житла потрібна

Для виявлення в подальшому формалізація визначальних організаційно-закономірностей впливу систематизованих технологічних і економічних факторів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Броневицкий С. П. Методы управления строительным комплексом в Украине / С. П. Броневицкий // Международный научно-исследовательский журнал = International research journal. – 2015. – № 4(35), ч. 1. – С. 40–42. – Режим доступа: <http://research-journal.org/wp-content/uploads/2015/05/4-1-35.pdf>. – Назва з екрана. – Перевірено: 24.11.2015.
2. Bronevitski S. Evolution of reforming of the civil construction industry management system in Ukraine / S. Bronevitski // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2015. – Vol. 17, № 8. – P. 3–12.
3. Про основи містобудування : Закон України від 16 листопада 1992 № 2780-XII / Верховна Рада України // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 52. – Ст. 683.
4. Про затвердження Положення про Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України : Постанова Кабінету Міністрів України від 30 квітня 2014 року № 197. – Режим доступу: http://kodeksy.com.ua/norm_akt/source-%D0%9A%D0%9C%D0%A3/type-%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0/197-30.04.2014.htm. – Назва з екрана.
5. Про Положення про Державний комітет України з будівництва та архітектури : Указ Президента України від 20 серпня 2002 року № 725/2002. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/725/2002>. – Назва з екрана. – Перевірено: 28.09.2015. .
6. Киевский И. Л. Влияние организационно-технических факторов на реализацию продукции жилищного строительства : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : 05.23.08 / Киевский Илья Леонидович ; Центр. науч.-исслед. и проектно-эксперимент. ин-т орг., механизации и техн. помощи стр-ву. – Москва, 2003. – 22 с.
7. Кравчуновська Т. С. Комплексна реконструкція житлової забудови: організаційно-технологічні аспекти : монографія / Т. С. Кравчуновська. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2010. – 230 с.
8. Концептуальные основы региональной политики развития комплексной реконструкции объектов жилой недвижимости с максимальным использованием существующих зданий и инфраструктуры городских территорий : монография / В. М. Киринос, В. Г. Андреев, Е. П. Уваров, В. А. Целовальников, Н. Н. Руденко, П. Е. Уваров, В. Н. Пунагин, М. Е. Шпарбер, Б. С. Дамаскин, В. М. Пилипенко, А. П. Пашков, Т. С. Кравчуновская, Е. Г. Галич, А. М. Югов, С. В. Кожемяка, В. В. Савйовский, Н. И. Котляр ; под общ. ред. В. М. Кириноса. – Днепропетровск : Наука и образование, 2010. – 121 с.
9. Костецкий Н. Ф. Зарубежный опыт государственного регулирования воспроизводства жилищного фонда, его сохранения и модернизации / Н. Ф. Костецкий, А. И. Гурко // Экономика строительства. – 2003. – № 1. – С. 13-30.
10. Осітнянко А. П. Планування розвитку міста : монографія / А. П. Осітнянко. – Київ : КНУБА, 2001. – 460 с.
11. Richard L. Urban construction project management / L. Richard, J. Eschemuller. – New York : McGraw-Hill, 2008. – 480 p.
12. Spatial planning. Key instrument for development and effective governance with special reference to countries in transition / United Nations, Economic commission for Europe. – New York ; Geneva, 2008. – 46 p. – Available at: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/documents/Publications/spatial_planning.e.pdf.
13. Sidney V. Levy. Project management in construction / Sidney V. Levy. – New York : McGraw-Hill, 2006. – 402 p.

REFERENCES

1. Bronevitsky S.P. *Metody upravleniya stroitelnyim kompleksom v Ukraine* [Methods of a build complex management in Ukraine]. *Mezhdunarodny nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International science and research journal]. 2015, no.4(35), part 1, pp. 40-42. Available at: <http://research-journal.org/wp-content/uploads/2015/05/4-1-35.pdf>. (in Russian).
2. Bronevitsky S. *Evolution of reforming of the civil construction industry management system in Ukraine. Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin-Rzeszow, 2015, vol. 17, no. 8, pp. 3-12. Available at: <http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/Teka-Motrol.html>.
3. Verkhovna Rada Ukrainy. *Pro osnovy` mistobuduvannya. Zakon Ukrayiny vydany 16 lystopada 1992 № 2780-XII* [About bases of town-planning. Law of Ukraine dated 12. 11. 92 № 2780-XII]. *Vidomosti Verhovnoi Rady Ukrainy* [Gazett of Verkhovna Rada of Ukraine], 1992, no. 52, article 683. (in Ukrainian).

4. Kabinet Ministriv Ukrayiny. *Pro zatverdzhennya Polozhennya pro Ministerstvo regionalnogo rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnogo gospodarstva Ukrayiny: Postanovka vid 30 kvitnia 2014 r. № 197* [About the approval of Statute about Ministry of regional development, construction and housing and municipal services of Ukraine: Statute dated 30. 04. 14 № 197]. 2014, no.197. Available at: http://kodeksy.com.ua/norm_akt/source-%D0%9A%D0%9C%D0%A3/type-%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0/197-30.04.2014.htm. (in Ukrainian).
5. Prezydent Ukrayiny. *Pro Polozhennia pro Derzhavnyi komitet Ukrayiny z budivnytstva ta arkhitektury: Ukaz 20 serpnia 2002 r. № 725/2002* [About Statute about State committee of Ukraine of civil engineering and architecture. Decree dated 20. 09. 2002 № 725/2002]. Available at: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/725/2002>. (in Ukrainian).
6. Kievskiy I.L. *Vliyanie organizatsionno-tekhnologicheskikh faktorov na realizatsiyu produktsii zhilishchnogo stroitelstva. Avtoreferat Kand.* [The impact of organizational and technical factors on realization of work of housing construction. Abstract of Ph.D. dissertation]. Moscow, 2003, 22 p. (in Russian).
7. Kravchunovska T.S. *Kompleksna rekonsruktsiia zhytlovoi zabudovy: organizatsiino-tekhnologichni aspekty* [Complex reconstruction of housing building: organizational and technological aspects]. Dnipropetrovsk: Nauka i osvita, 2010, 230 p. (in Ukrainian).
8. Kirnos V.M., Andreev V.G., Uvarov Ye.P., Tselovalnikov V.A., Rudenko N.N., Uvarov P.Ye., Punagin V.V., Shparber M.Ye., Damaskin B.S., Pilipenko V.M., Pashkov A.P., Kravchunovskaya T.S., Galich Ye.G., Yugov A.M., Kozhemyaka S.V., Savyovskiy V.V. and Kotlyar N.I. *Kontseptualnye osnovy regionalnoy politiki razvitiya kompleksnoy rekonstruktsii obyektov zhiloy nedvizhimosti s maksimalnym ispolzovaniem sushchestvuyushchikh zdaniy i infrastruktury gorodskikh territoriy* [Conceptual principles of regional policy of the development of complex reconstruction of objects of residential properties with maximum use of existing buildings and infrastructure of urban areas]. Dnipropetrovsk: Nauka i osvita, 2010, 121 p. (in Russian).
9. Kostetskiy N.F. and Gurko A.I. *Zarubezhny opyt gosudarstvennogo regulirovaniya vosproizvodstva zhilishchnogo fonda, ego sokhraneniya i modernizatsii* [Foreign experience of state regulation of reproduction of housing fund, its preservation and modernization]. *Ekonomika stroitelstva* [Construction Economics], 2003, no.1, pp. 13-30. (in Russian).
10. Ositnianko A.P. *Planuvannia rozvytku mista* [City development planning]. Kyiv: KNUCA, 2001, 460 p. (in Ukrainian).
11. Richard L. and Eschemuller J. *Urban construction project management*. New York., McGraw-Hill Publ., 2008. 480 p.
12. *Spatial planning. Key instrument for development and effective governance with special reference to countries in transition*. United Nations, Economic commission for Europe. New York, Geneva, 2008, 46 p. Available at: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/documents/Publications/spatial_planning.e.pdf.
13. Sidney V. Levy. *Project management in construction*. New York: McGraw-Hill Publ., 2006. 402 p.

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

Надійшла до редколегії: 18.04.2016. Прийнята до друку: 21.04.2016.

УДК 69.032.22:658.512.4

ФОРМУВАННЯ ПРОЕКТНИХ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ЗВЕДЕННЯ ВИСОТНИХ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

БОЛЬШАКОВ В. І.¹, д. т. н, проф.,

ЗАЯЦЬ Є. І.^{2*}, к. т. н., доц.

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра планування і організації виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: zei83dici@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7382-919X

Анотація. *Постановка проблеми.* Формування множини способів зведення висотних багатофункціональних комплексів. *Мета статті.* Формування варіантів реалізації системи створення і функціонування висотних багатофункціональних комплексів із застосуванням комбінаторно-морфологічного аналізу та синтезу. З'ясування множини варіантів життєвого циклу висотних багатофункціональних комплексів. *Висновки.* Розроблено метод формування організаційно-технологічних рішень, адаптований до умов зведення висотних багатофункціональних комплексів, що дає можливість на умовах багатоваріантності, з урахуванням нормативних вимог щодо пожежної безпеки, інсоляції будинків і приміщень, захисту від шуму і вібрації, енергетичної ефективності, інфраструктури і щільності населення житлового мікрорайону з повним комплексом установ і підприємств місцевого значення, в межах наявних ресурсних обмежень, забезпечити введення в експлуатацію об'єктів із заданими техніко-економічними характеристиками. Запропоновані моделі та методика дозволяють визначити раціональний варіант висотного будівництва відповідно до заданих критеріїв та обмежень.

Ключові слова: висотне будівництво, висотний багатофункціональний комплекс, проектні рішення, організаційно-технологічні рішення, ресурси, тривалість, вартість

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ВОЗВЕДЕНИЯ ВЫСОТНЫХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н, проф.,

ЗАЯЦЬ Е. И.^{2*}, к. т. н., доц.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра планирования и организации производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: zei83dici@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7382-919X

Аннотация. *Постановка проблемы.* Формирование множества способов возведения высотных многофункциональных комплексов. Формирование вариантов реализации системы создания и функционирования высотных многофункциональных комплексов с применением комбінаторно-морфологического анализа и синтеза. Определение множества вариантов жизненного цикла высотных многофункциональных комплексов. *Выводы.* Разработан метод формирования организационно-технологических решений, адаптированный к условиям возведения высотных многофункциональных комплексов, что дает возможность на условиях многовариантности, с учетом нормативных требований по пожарной безопасности, инсоляции зданий и помещений, защиты от шума и вибрации, энергетической эффективности, инфраструктуры и плотности населения жилого микрорайона с полным комплексом учреждений и предприятий местного значения, в рамках имеющихся ресурсных ограничений, обеспечить ввод в эксплуатацию объектов с заданными технико-экономическими характеристиками. Предложенные модели и методика позволяют определить рациональный вариант высотного строительства согласно заданным критериям и ограничениям.

Ключевые слова: высотное строительство, высотный многофункциональный комплекс, проектные решения, организационно-технологические решения, ресурсы, продолжительность, стоимость

THE FORMATION OF DESIGN AND ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DECISIONS OF THE CONSTRUCTION OF HIGH-RISE MULTIPURPOSE COMPLEXES

BOLSHAKOV V. I.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
ZAIATS I. I.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

¹ Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Department of Planning and Organization of Production, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-66, e-mail: zei83dici@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7382-919X

Abstract. Purpose. The formation of the many ways the construction of high-rise multipurpose complexes. **Methodology.** The formation of system implementation variants of creation and functioning of high-rise multipurpose complexes using combinatorial morphological analysis and synthesis. **Findings.** Many life cycle options of high-rise multipurpose complexes. **Originality.** The developed method of formation of organizational and technological solutions adapted to the conditions of the construction of high-rise multipurpose complexes, which provides the opportunity for multi-variant conditions, taking into account regulatory requirements for fire safety, insulation of buildings and premises, protection against noise and vibration, energy efficiency, infrastructure and population density of a residential district with a full range of institutions and enterprises of local significance, within existing resource constraints, to ensure the commissioning of objects with specified technical and economic characteristics. **Practical value.** The proposed model and the methodology allow to determine a rational variant of high-rise building according to specified criteria and constraints.

Keywords: *high-rise construction, high-rise mixed use complex, design decisions, organizational and technological decisions, resources, duration, cost*

Постановка проблеми. У великих містах усе активніше здійснюється процес проектування і спорудження висотних будинків. Ця тенденція розвитку міського середовища спостерігається в різних країнах і на різних континентах, незважаючи на властиві таким об'єктам складні архітектурні, об'ємно-планувальні, конструктивні й організаційно-технологічні рішення, що зумовлено недостатністю територіальних ресурсів великих міст для забезпечення їх функцій, дефіцитом вільних земельних ділянок та їх високою вартістю, підвищенням попиту на підземні площі для паркінгів, і, як наслідок, необхідністю найбільш ефективного використання територій та інвестицій, підвищенням споживчих вимог до якості, комфорту і безпеки будівель.

Сучасні висотні будівлі відрізняються від уже існуючих поверховістю, функціями, вимогами щодо енергозбереження, конструктивними системами, матеріалом конструкцій та технологіями зведення. Окрім того, довговічність, комфортність, економічність висотних будівель багато в чому зумовлені рівнем розвитку інвестиційно-будівельного комплексу,

ступенем активності державної політики, спрямованої на формування уявлення про новий, більш довершений рівень житла. Якщо зведення багатоповерхових цивільних будівель являє собою достатньо відпрацьований процес, то складність і відповідальність висотних будівель потребують розроблення спеціальних проектів (проектів експлуатації). Проблема вибору раціональної ресурсозберігальної технології зведення висотної будівлі в тому або іншому ступені є актуальною для всіх учасників (замовник, інвестор, проектувальник, підрядник) інвестиційно-будівельного проекту. Ці особливості, очевидно, суттєво впливатимуть на тривалість і вартість висотного будівництва [1–14].

Однак і досі немає достатнього наукового обґрунтування принципів зведення висотних багатофункціональних комплексів в умовах ущільненої міської забудови. Також потребують подальшого розвитку методи формування, оцінки, обґрунтування та вибору раціональних організаційно-технологічних рішень зведення висотних багатофункціональних комплексів, що дозволяють мінімізувати

витрати ресурсів та забезпечити якість готової будівельної продукції відповідно до чинних нормативних вимог.

Отже, розвиток методологічних принципів обґрунтування організаційно-технологічних рішень зведення висотних багатофункціональних комплексів в умовах ущільненої міської забудови – це актуальна, науково-прикладна проблема.

Аналіз досліджень та публікацій.

Методам визначення тривалості реалізації будівельних проектів та вартості готової будівельної продукції приділяється особлива увага, як під час формування договірної ціни, так і на різних етапах організаційно-технологічного проектування, оскільки врахування ймовірнісного характеру впливу визначальних організаційно-технологічних та інших факторів для обґрунтування техніко-економічних показників проектів дозволяє підвищити достовірність, надійність прийнятих рішень і забезпечити їх фізичну та фінансову реалізованість. Актуальність таких досліджень зумовлена наявністю суттєвих відхилень фактичних значень техніко-економічних показників будівельних проектів від їх запланованих значень. Наявність таких відхилень пов'язана з неадекватними, необґрунтовано оптимістичними оцінками тривалості та вартості через неправильне визначення обсягів робіт; застосуванням переважно детермінованих, статичних моделей виконання робіт, що не враховують можливість їх коригування у випадку зміни умов виробництва; традиційно ізольованим розглядом таких показників як час, ресурси і вартість, що не дозволяє забезпечити необхідний ступінь відповідності фактичних значень запланованим.

До основоположних праць у галузі дослідження, вдосконалення, теоретичного, експериментального та техніко-економічного обґрунтування технологічних процесів, методів і форм організації будівництва та його виробничої бази належать праці С. С. Атаєва, А. А. Афанасьєва, С. М. Булгакова, О. А. Гусакова, Е. К. Завадскаса, Ю. Б. Монфреда,

Т. М. Цая, П. П. Олійника, В. І. Торкатюка, Р. Б. Тяна, С. А. Ушацького, Р. І. Фокова, А. К. Шрейбера та інших.

Розроблені теорії одержали подальший розвиток у наукових працях їх послідовників: А. І. Білокося, К. Б. Ганієва, Д. Ф. Гончаренка, В. А. Давидова, В. М. Кірноса, О. М. Лівінського, О. І. Менеїлюка, І. Д. Павлова, К. А. Шрейбера та інших учених.

В останні десятиліття одержали розвиток дослідження, присвячені науковим основам створення та вдосконалення технології й організації будівельно-монтажних процесів, пов'язаних із зведенням, реконструкцією, реставрацією, ремонтом будинків, споруд і комплексів, зокрема в особливих умовах; організаційним структурам, формам й методам управління підприємствами будівельного комплексу та його матеріально-технічної бази; розробленню наукових, теоретичних основ комплексної механізації та автоматизації будівельних процесів. До таких належать праці Є. Ю. Антипенка, В. О. Галушко, В. І. Доненка, А. Д. Єсипенко, Т. С. Кравчуновської, В. Р. Млодецького, О. Ф. Осипова, В. О. Поколенка, О. М. Пшінька, А. В. Радкевича, В. В. Савйовського, І. А. Соколова, В. Г. Сохи, Г. М. Тонкачєєва, О. А. Тугая, В. Т. Шаленного, С. В. Шатова, К. А. Шрейбера, І. В. Шумакова, Л. М. Шутенка та інших дослідників.

Видається можливим поширення запропонованих концепцій і на дослідження показників ефективності організаційно-технологічних рішень зведення висотних багатофункціональних комплексів протягом їх життєвого циклу [1–14].

Мета статті. Метою статті є формування множини способів зведення висотних багатофункціональних комплексів на основі комбінаторно-морфологічного аналізу і синтезу.

Виклад матеріалу. Для формування варіантів проектних і організаційно-технологічних рішень зведення висотних багатофункціональних комплексів необхідно здійснити формування множини можливих способів висотного будівництва з

подальшою формалізацією опису капітальних вкладень за кожним із варіантів.

Для вирішення питання формування множини всіх можливих варіантів організаційно-технологічних рішень зведення висотних багатофункціональних комплексів — від вибору проектних рішень та відпрацювання їх на технологічність до обґрунтування прийнятих організаційно-технологічних рішень за критерієм відповідності заданим конкретним умовам виробництва робіт — доцільно застосувати методи комбінаторно-морфологічного аналізу і синтезу, призначені для пошуку рішень на основі розподілу досліджуваної

системи на підсистеми і елементи, формування підмножин альтернативних варіантів реалізації кожної підсистеми, комбінування різних варіантів вирішення системи з альтернативних варіантів реалізації підсистем, вибору найкращих варіантів виконання завдання системи.

Система створення і функціонування висотних багатофункціональних комплексів може бути представлена підсистемою проектування, підсистемою будівництва та підсистемою експлуатації з відповідними кожній підсистемі ознаками та можливими способами їх реалізації (табл. 1).

Таблиця 1

Варіанти реалізації системи створення і функціонування висотних багатофункціональних комплексів

Підсистеми	Ознаки (характеристики)	Альтернативи реалізації ознак підсистем	Кількість способів
1	2	3	4
Проектування	Гідрогеологічні умови	Відсутність ґрунтових вод (d_{11})	D_1
		Відкритий водовідлив (d_{12})	
		Зниження рівня ґрунтових вод (d_{13})	
	Тип фундаменту	Пальові фундаменти (d_{21})	D_2
		Глибокі опори високої носійної здатності (типу «барет») (d_{22})	
		Плитні фундаменти, в тому числі підвищеної жорсткості (коробчасті) (d_{23})	
		Комбіновані плитно-пальові фундаменти (d_{24})	
	Глибина закладання фундаменту	До 10,0 м (d_{31})	D_3
		Від 10,0 м до 20,0 м (d_{32})	
Від 20,0 м до 30,0 м (d_{33})			
Проектування		Від 30,0 м до 40,0 м (d_{34})	
		Понад 40,0 м (d_{35})	
	Конструктивна система	Каркасна система з діафрагмами жорсткості (d_{41})	D_4
		Рамно-каркасна система (d_{42})	
		Безкаркасна система з перехресно-носійними стінами (d_{43})	
		Стовбурна система (d_{44})	
		Каркасно-стовбурна система (d_{45})	
		Коробчаста (оболонкова) система (d_{46})	
		Стовбурно-коробчаста система (d_{47})	
	Кількість технічних поверхів	1 технічний поверх (d_{51})	D_5
		2 технічні поверхи (d_{52})	
		3 і більше технічних поверхів (d_{53})	
	Матеріал носійних конструкцій	Монолітний залізобетон (d_{61})	D_6
Сталезалізобетон (d_{62})			
Металеві (d_{63})			

	Енергоефективність	Клас А (d_{71})	D_7
		Клас В (d_{72})	
	Конфігурація будівлі в плані	Коло (d_{81})	D_8
		Еліпс (d_{82})	
		Квадрат (d_{83})	
		Трикутник (d_{84})	
		Прямокутник (d_{85})	
		Багатокутник (d_{86})	
	Об'ємна форма в будівлі	Циліндрична (d_{91})	D_9
		Пірамідальна (d_{92})	
		Призматична (d_{93})	
	Висота будівлі	Від 73,5 м до 100,0 м (d_{101})	D_{10}
		Від 100,0 м до 200,0 м (d_{102})	
		Від 200,0 м до 300,0 м (d_{103})	
		Від 300,0 м до 400,0 м (d_{104})	
Понад 400,0 м (d_{105})			
Будівництво	Насиченість території інженерними комунікаціями та умови їх експлуатації	Мала кількість інженерних комунікацій, які не потребують їх захисту чи перенесення (перекладання) в процесі будівництва (b_{11})	B_1
		Рівною мірою є інженерні комунікації, які як експлуатуються в процесі будівництва, так і потребують їх захисту чи перенесення (перекладання) незначною мірою (b_{12})	
		Наявність великої кількості інженерних комунікацій, які експлуатуються в процесі будівництва і потребують їх захисту чи перенесення (перекладання) (b_{13})	
Будівництво	Способи влаштування котловану та зведення будівлі	Відкритий спосіб (b_{21})	B_2
		Закритий спосіб (b_{22})	
		Напівзакритий спосіб (b_{23})	
		Технологія «top-down» (b_{24})	
		Декельна технологія (b_{25})	
	Спосіб закріплення стінок котловану	Загородження котловану з вертикальних сталевих елементів, занурюваних у ґрунт по контуру котловану (b_{31})	B_3
		Шпунтове закріплення (b_{32})	
		«Стіна в ґрунті» (b_{33})	
		Влаштування загородження котловану з буросічних паль (b_{34})	
		Струминна технологія (jet-grouting) (b_{35})	
	Опалубні системи	Традиційні опалубні системи (b_{41})	B_4
		Спеціальні опалубні системи (b_{42})	
	Насиченість будівлі технологічним обладнанням	Низька (b_{51})	B_5
		Середня (b_{52})	
		Висока (b_{53})	
	Стисненість	Нормальні умови (b_{61})	B_6
		Стиснені умови (b_{62})	
		Особливо стиснені умови (b_{63})	
Експлуатація	Моніторинг технічного стану конструктивних елементів, інженерних систем, приміщень і	Геолого-гідрологічний моніторинг (e_{11})	E_1
		Об'єктний моніторинг (e_{12})	
		Еколого-біологічний моніторинг (e_{13})	

	прилеглої території		
Запобігання передчасному зносу і оперативне управління параметрами середовища життя		Технічне обслуговування інженерних мереж і обладнання висотного будинку (e_{21})	E_2
		Технічне обслуговування носійних конструкцій, покрівлі і фасадів висотного будинку (e_{22})	
		Обслуговування автоматизованої системи моніторингу та управління інженерними системами висотного будинку (e_{23})	
		Обслуговування системи світломаркування (e_{24})	
Усунення (ліквідація) фізичного і морального зносу		Капітальний ремонт інженерних мереж і обладнання, носійних конструкцій, покрівлі і фасадів висотного будинку (e_{31})	E_3
		Реконструкція інженерних мереж і обладнання, носійних конструкцій, покрівлі і фасадів висотного будинку (e_{32})	

Загальна кількість варіантів життєвого циклу висотних багатофункціональних комплексів визначається за формулою:

$$N = K^d \cdot K^b \cdot K^e,$$

де K^d – кількість альтернативних варіантів проектування висотних багатофункціональних комплексів;

K^b – кількість альтернативних варіантів будівництва висотних багатофункціональних комплексів;

K^e – кількість альтернативних варіантів експлуатації висотних багатофункціональних комплексів.

Кількість альтернативних варіантів проектування висотних багатофункціональних комплексів визначається таким чином:

$$K^d = \prod_{q=1}^u D_q = D_1 \cdot D_2 \cdot \dots \cdot D_q \cdot \dots \cdot D_u,$$

де D_q – число способів (альтернатив) реалізації q -ї функції (ознаки) підсистеми проектування висотних багатофункціональних комплексів;

u – кількість функцій (ознак) підсистеми проектування висотних багатофункціональних комплексів.

Кількість альтернативних варіантів будівництва висотних багатофункціональних комплексів визначається в такий спосіб:

$$K^b = \prod_{e=1}^z B_e = B_1 \cdot B_2 \cdot \dots \cdot B_e \cdot \dots \cdot B_z,$$

де B_e – число способів (альтернатив) реалізації e -ї функції (ознаки) підсистеми будівництва висотних багатофункціональних комплексів;

z – кількість функцій (ознак) підсистеми будівництва висотних багатофункціональних комплексів.

Кількість альтернативних варіантів експлуатації висотних багатофункціональних комплексів розраховується за формулою:

$$K^e = \prod_{s=1}^y E_s = E_1 \cdot E_2 \cdot \dots \cdot E_s \cdot \dots \cdot E_y,$$

де E_s – число способів (альтернатив) реалізації s -ї функції (ознаки) підсистеми експлуатації висотних багатофункціональних комплексів;

y – кількість функцій (ознак) підсистеми експлуатації висотних багатофункціональних комплексів.

Висновки. Для вирішення завдання формування множини всіх можливих варіантів рішень зведення висотних багатофункціональних комплексів — від вибору проектних рішень та відпрацювання їх на технологічність до обґрунтування прийнятих організаційно-технологічних рішень за критерієм відповідності заданим конкретним умовам виробництва робіт — доцільно застосувати методи комбінаторно-морфологічного аналізу і синтезу.

Морфологічні методи — потужний апарат дослідження, сутність яких полягає в такому: спочатку в результаті морфологічного аналізу визначається простір пошуку, так звана морфологічна множина, яка обов'язково повинна включати в себе шукане рішення, а потім звужується цей простір, здійснюючи пошук цього рішення, яке є елементом морфологічної множини. Проте морфологічні методи оперують лише части-

ною знань предметної області, що стосується морфології. Тому вони мають бути доповнені методами математичного моделювання досліджуваних процесів (об'єктів), а також методами інженерії знань.

Сформовано множину альтернативних варіантів повного життєвого циклу висотних багатофункціональних комплексів (проекування, будівництво, експлуатація) для різ-

них умов їх зведення.

Вирішення питання вибору раціонального варіанта зведення висотних багатофункціональних комплексів в умовах ущільненої міської забудови, формалізації опису загальної вартості будівництва, загальних експлуатаційних витрат протягом нормативного періоду експлуатації і одержуваної загальної площі можливе за кожним із варіантів повного життєвого циклу.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

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, 2009. – 161 с. – (Державні будівельні норми).
2. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки : ДБН В.1.2-12-2008 / Мінрегіонбуд України. – Уведено вперше ; чинні від 2009-01-01. – Київ, 2008. – 34 с. – (Державні будівельні норми).
3. Визначення тривалості будівництва об'єктів: ДСТУ Б А.3.1-22:2013 / Мінрегіонбуд України. – Вид. офіц. – Чинний від 2014-01-01. – Київ, 2014. – 30 с. – (Національний стандарт України).
4. Організація будівельного виробництва : ДБН А.3.1-5-2009 / Мінрегіонбуд України. – Чинні від 2012-01-01. – Київ, 2011. – 61 с. – (Національний стандарт України).
5. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений : СНиП 1.04.03-85* / Госстрой СССР. – Введен 1985-08-01. – Москва, 1985. – 137 с.
6. Генералов В. П. Особенности проектирования высотных зданий / В. П. Генералов. – Самара : Самарск. гос. арх.-строит. ун-т, 2009. – 296 с.
7. 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.
8. Кирнос В. М. Организация строительства / В. М. Кирнос, В. Ф. Залуин, Л. Н. Дадиверина. – Днепропетровск : Пороги, 2005. – 309 с.
9. Кирнос О. И. Организационно-технологические аспекты обоснования цены на строительную продукцию: дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.08 / Кирнос Олеся Ивановна ; Днепр. инж.-строит. ин-т. – Днепропетровск, 1993. – 145 с.
10. Проектирование современных высотных зданий / [Сюй Пэйфу, Фу Сюси, Ван Цуйкунь, Сяо Цунчжэнь]. – Москва : АСВ, 2008. – 469 с.
11. Mir V. A. Evolution of concrete skyscrapers: from Ingalls to Jin mao / V. Ali Mir // Electronic Journal of Structural Engineering. – 2001. – Vol. 1, № 1. – P. 2-14.
12. Richard L. Urban construction project management / L. Richard, J. Eschemuller. – New York : McGraw-Hill, 2008. – 480 p.
13. 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.
14. Sidney V. L. Project management in construction / V. L. Sidney. – New York : McGraw-Hill, 2006. – 402 p.

REFERENCES

1. Minregionbud Ukrainy. *Budynky i sporudy. Proektuvannia vysotnykh zhytlovykh i gromadskykh budynkiv: DBN V.2.2-24:2009* [Houses and structures. Designing of high-rise residential and public buildings: SCN V.2.2-24:2009]. Kyiv, 2009, 161 p. (in Ukrainian).
2. Minregionbud Ukrainy. *Budivnytstvo v umovakh ushchilnenoї zabudovy. Vymogy bezpeky: DBN V.1.2-12-2008* [Building in the compacted area. Safety requirements: SBC V.1.2-12-2008]. Kyiv, 2008, 34 p.
3. Minregionbud Ukrainy. *Vyznachennia tryvalosti budivnytstva obiektiv: DSTU B A. 3.1-22:2013* [Determination of duration of construction. State standard of Ukraine V.A. 3.1-22:2013]. Kyiv, 2014, 30 p. (in Ukrainian).
4. Minregionbud Ukrainy. *Organizatsiia budivelnogo vyrobnytstva: DBN A.3.1-5-2009* [Organization of building production: SBC A.3.1-5-2009]. Kyiv, 2011, 61 p.
5. Gosstroy SSSR. *Normy prodolzhitelnosti stroitelstva i zadela v stroitelstve predpriyatiy, zdaniy i sooruzheniy: SNiP 1.04.03-85** [Norms of duration of construction and backlog in the construction of enterprises, buildings and structures. CN and R 1.04.03-85]. Moscow, 1991, 137 p. (in Russian).

6. Generalov V. P. *Osobennosti proektirovaniya vysotnykh zdaniy* [Features of design of tall buildings.]. Samara, Samara state architecture and civil engineering university, 2009. 296 p. (in Russian).
7. Goncharenko D. F. *Vozvedenie mnogoetazhnykh karkasno-monolitnykh zdaniy* [The construction of multi-storey frame-monolithic buildings: monograph]. *Monografiya-* Monograph. Kiev , A+S, 2013. 128 p. (in Russian).
8. Kirnos V.M., Zalunin V.F. and Dadiverina L.N. *Organizatsiya stroitelstva* [Organization of construction]. Dnepropetrovsk: Porogi, 2005, 309 p. (in Russian).
9. Kirnos O. I. *Organizatsionno-tehnologicheskie aspekty obosnovaniya tseny na stroitelnyuyu produktsiyu. Avtoreferat Kand.* [Organizational and technological aspects of the justification of prices for construction products. Abstract of Ph. D. dissertation]. Dnepropetrovsk, 1993, 145 p. (in Russian).
10. Syuy Peyfu, Fu Syusi, Van Tsuykun, Syao Tsunchzhen *Proektirovanie sovremennykh vysotnykh zdaniy* [The design of modern high-rise buildings]. Moscow, ASV, 2008. 469 p. (in Russian).
11. Mir V. Ali. Evolution of concrete skyscrapers: from Ingalls to Jin mao .Electronic Journal of Structural Engineering. 2001.,Vol. 1,no.1, pp. 2-14.
12. Richard L. Urban construction project management / L. Richard, J. Eschemuller. – New York : McGraw-Hill, 2008. – 480 p.
13. 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.
14. Sidney V. L. Project management in construction / V. L. Sidney. – New York : McGraw-Hill, 2006. – 402 p.

Рецензент: д-р т. н., проф. Кравчуновська Т. С.

Надійшла до редколегії: 18.04.2016 р. Прийнята до друку: 21.04.2016 р.

УДК 669.017:621.771:621.785.66-97

КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ СВЯЗИ ЦЕМЕНТИТ–АУСТЕНИТ–ФЕРРИТ ПРИ ДИФФУЗИОННОМ РАСПАДЕ АУСТЕНИТА

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,СУХОМЛИН Г. Д.^{2*}, д. т. н., проф.,СУХОМЛИН В. И.^{3*}, с. н. с.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (056) 745 23 72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-62, e-mail: g_suhomlin@mail.ru, ORCID ID: 000-0001-5840-169X

^{3*} Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: alma31@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3673-1353

Аннотация. Проведен поиск новых, более точных ориентационных соотношений между кристаллическими решётками в перлитных и бейнитных продуктах распада аустенита. **Методика.** Используются методы: трансмиссионной электронной микроскопии, микродифракции, математического матричного и стереографического анализов. **Цель исследования** – теоретическими, расчетными и экспериментальными методами установить с точностью до 0,2 углового градуса ориентационные соотношения между решётками феррита и цементита в продуктах распада аустенита в интервале температур 400...700°C. **Результаты.** Установлено новое, уточнённое соотношение решёток при диффузионном распаде $\gamma \rightarrow \alpha + (\alpha + \theta)$. **Практическая значимость.** Предложена новая ориентационная зависимость и соответствующая двойная гномостереографическая проекция с полюсами нормалей к плоскостям α и θ фаз, которая может быть использована при исследованиях закономерностей кристаллографических связей решёток при фазовых переходах, а также при последующем моделировании сложных физических процессов структурообразования в металлах и бинарных системах.

Ключевые слова: феррито-перлитные стали, распад аустенита, фазовые превращения, ориентационные соотношения, кристаллография перлита

КРИСТАЛОГРАФІЧНІ ЗВ'ЯЗКИ ЦЕМЕНТИТ–АУСТЕНИТ–ФЕРИТ ПРИ ДИФУЗІЙНОМУ РОЗПАДІ АУСТЕНИТУ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,СУХОМЛИН Г. Д.^{2*}, д. т. н., проф.,СУХОМЛИН В. И.^{3*}, с. н. с.

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (056) 745 23 72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-62, e-mail: g_suhomlin@mail.ru, ORCID ID: 000-0001-5840-169X

^{3*} Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: alma31@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3673-1353

Анотація. Проведено пошук нових, більш точних орієнтаційних співвідношень між кристалічними решітками в перлітних і бейнітних продуктах розпаду аустеніту. **Методика.** Використано методи: трансмісійної електронної мікроскопії, мікродифракції, математичного матричного і стереографічного аналізів. **Мета дослідження** - теоретичними, розрахунковими і експериментальними методами встановити з точністю до 0,2 кутового градусу орієнтаційні співвідношення між решітками фериту і цементиту в продуктах розпаду аустеніту в інтервалі температур 400...700°C. **Результати.** Встановлено нове, уточнене співвідношення решіток при дифузійному розпаді $\gamma \rightarrow \alpha + (\alpha + \theta)$. **Практична значимість.** Знайдені орієнтаційні співвідношення та побудована подвійна гномостереографічна проекція з полюсами нормалей до площин α і θ фаз, яка може бути використана при дослідженнях закономірностей кристаллографічних зв'язків решіток при фазових переходах, а також при наступному моделюванні складних фізичних процесів структуроутворення в металах та бінарних системах.

Ключові слова: феритно-перлітні сталі, розпад аустеніту, фазові перетворення, орієнтаційні співвідношення, кристаллографія перліту

CRYSTALLOGRAPHIC RELATIONS OF CEMENTITE–AUSTENITE– FERRITE IN THE DIFFUSIVE DECOMPOSITION OF AUSTENITE

BOL'SHAKOV V. I.¹, *Dr. Sc.(Tech.), Prof.*,
SUKHOMLIN G. D.^{2*}, *Dr. Sc.(Tech.), Prof.*,
SUKHOMLIN V. I.^{3*}, *Senior researcher*

¹ Department of Material Science and Treatment of Materials, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel.+38 (056) 745 23 72, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID 0000-0003-0790-6473

^{2*} Department of Material Science and Treatment of Materials, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-62, e-mail: g_suhomlin@mail.ru, ORCID ID: 000-0001-5840-169X

^{3*} Department of Material Science and Treatment of Materials, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: alma31@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3673-1353.

Summary. It was made a search for new and more accurate orientation relations between the crystal lattice in the pearlite and bainite austenite decomposition products. **Methods.** It were used the methods: transmission electron microscopy, the micro-, mathematical matrix and stereographic analysis. **The purpose of the research** is with theoretical, numerical and experimental methods to set up to a 0.2 degree angular orientation relations between the lattices of ferrite and cementite in the austenite decomposition products in the temperature range 400 ... 700°C. **Results.** It was established a new, refined value for grids in the diffusion decay of $\gamma \rightarrow \alpha + (\alpha + \theta)$. **Practical significance.** It was proposed a new oriented dependence and the corresponding double gnomonic projection with poles to planes α and θ phases, which can be used in patterns of crystallographic lattices relations studies at phase transitions, as well as the subsequent modeling of complex physical processes of structure formation in metals and binary systems.

Keywords: *low-carbon steel, decomposition of austenite, phase transformations, oriented relations, pearlite crystallography*

Введение. Известно, что одним из основных путей разрушения поликристаллических материалов является распространение межкристаллитной трещины. При этом было показано, что склонность к межкристаллитному разрушению связана не только с химическим составом, микроструктурой материала и агрессивностью окружающей среды, но и с типом и структурой границ зерен. Строение границы определяет меру её дефектности по сравнению с бездефектной решёткой, т. е. удельную поверхностную энергию. Энергия границы играет доминирующую роль в её способности влиять на основные свойства поликристаллов, такие, как прочность, пластичность, адгезионную способность, коррозионную стойкость и многие другие [1]. В свою очередь, строение внутрифазной границы определяется взаимным поворотом решёток кристаллов друг относительно друга, а для межфазных границ — ещё и параметрами решёточных элементарных ячеек контактирующих кристаллов.

Современные представления об атомном строении большеугловых границ зёрен

основаны на концепции решёток совпадающих узлов (PCY), которая позволяет успешно рассчитывать удельную поверхностную энергию границ зёрен, если известны основные характеристики взаимной ориентации решёток (ось и угол поворота) и поэтому важно устанавливать ориентационные соотношения (ОС) с высокой точностью. Основные ОС между решётками фаз в металлах и сплавах были установлены ещё в прошлом столетии, с относительно низкой точностью (до 3...5 градусов, а иногда и хуже). Особенно важны ориентационные соотношения в системе железо-углерод, где существуют различные полиморфные переходы (аустенит, феррит, цементит) и выделяются более 5 типов карбидов с различными температурами зарождения и растворения. Например, известное соотношение $\gamma \rightarrow \alpha'$, реализующееся при сдвиговом превращении аустенита [2], имеет несколько вариантов, основные из которых отличаются на несколько градусов в пределах 5° [2–4]. А в сопряжениях между ферритом и цементитом в перлите и отпущенном мартенсите сложилась неопределенная ситуация. Еще в 1947 году в «Журнале технической физики»

была опубликована обстоятельная работа В. А. Исайчева [5], в которой описаны результаты экспериментального определения ориентационных соотношений аустенит-феррит, феррит-цементит и аустенит-цементит рентгеновским методом. Они были получены на одном монокристалле стали, который подвергали соответствующим обработкам, фиксируя рентгенограммы вращения и строя по ним стереографические проекции полюсов плоскостей феррита, аустенита и цементита (θ - карбида). К тому времени соотношение $\theta \rightarrow \gamma$ было установлено М.Э. Арбузовым и Г.В. Курдюмовым (ОС АК) [6], а соотношение аустенит-мартенсит — Г.В. Курдюмовым и Г. Заксом (ОС КЗ) [2] с использованием такой же методики. При этом, полученное И.В. Исайчевым $\alpha \rightarrow \theta$ соотношение (ОСИ) [5]:

$$(1\parallel 03)_\theta \parallel (1\parallel 01)_\alpha; \quad [010]_\theta \parallel [1\parallel 1]_\alpha \quad (1)$$

до настоящего времени не получило полного признания.

Спустя три года, в 1950 году С.А. Багаряцкий, коллега И.В. Исайчева, опубликовал в журнале «Доклады АН СССР» статью [7], в которой рассмотрены кристаллографическое строение и подобие элементарных ячеек α' и θ фаз и предложен вероятный механизм перестройки α' тетрагональной решётки мартенсита в орторомбическую решётку цементита. Сделан вывод, что при такой операции окажутся почти параллельными плоскости:

$$(001)_\theta \parallel (112)_\alpha; \quad (100)_\theta \parallel (1\parallel 10)_\alpha; \quad (010)_\theta \parallel (1\parallel 1)_\alpha. \quad (2)$$

По неизвестным причинам это предположение было воспринято научной общественностью в качестве физически существующего (ОСБ), реализующегося при отпуске (выше 500°C) мартенсита [11], при перлитном распаде аустенита [8–9], в бейните (ниже 500°C) [10–11].

Такое положение дел сохраняется до настоящего времени, хотя в 60-70-ых годах появились публикации, о случаях реализации ОС Исайчева в перлитных структурах [11–12].

В работах В.И. Большакова с сотрудниками [13] были усовершенствованы методы обработки дифракционных данных, повышающие точность измерений азимутальных компонентов до 0,1 градуса. Это позволило на большом массиве микродифракционного материала (свыше 150 случаев сопряжений) показать [13], что подавляющее большинство (~81%) дифракционных картин от перлита и отпущенного мартенсита могут быть однозначно отнесены к ОС Исайчева, а 9% допускают двоякую трактовку из-за специфики формирования электрограмм и ограниченных возможностей гониометрических устройств. Важно акцентировать, что случаи, которые надёжно соответствовали бы ОС Багаряцкого [7], зафиксированы не были. Эти факты указывают на реализацию в естественных условиях сопряжений ферритных и цементитных кристаллов не по ОС Багаряцкого, а по ОС Исайчева.

В перлитных сталях на единицу объёма содержится особенно много межфазных границ феррит-цементит, однако трещины по α - θ границам образуются редко и лишь в тех случаях, когда направление течения металла случайно происходит почти вдоль пластин перлита. Вопрос о наследовании кристаллографических связей при диффузионных фазовых превращениях обсуждается довольно давно. Примерами могут служить работы Омори [9–10], Л. М. Утевского [11], Шеклтона и Келли [12], в которых для выяснения этого вопроса были применены матричные уравнения.

Очевидно, что дальнейшая работа в этом направлении актуальна и её следует продолжать.

Цель исследования — установить теоретическим, расчетным и экспериментальными методами с точностью до 0,2 углового градуса ориентационные соотношения между решётками аустенита, феррита и цементита в продуктах распада аустенита в интервале температур 400...700°C.

Материал и методики исследований.

Исследовали низкоуглеродистые ферритно-перлитные стали 20, Ст 3 и микролегированную сталь 10Г2ФБ. Применяли методы: трансмиссионной электронной микроскопии, микродифракции, математического матричного и стереографического анализ [11, 15, 16].

Результаты исследования и их обсуждение

Для работы с различными вариантами ориентационных соотношений удобно выражать их двумя методами. Первый из них — стереографический — не обеспечивает высокой точности ($\pm 2^\circ$), но позволяет наглядно представить общую картину расположения многих плоскостей или векторов между собой [11, 12, 15].

Гораздо больше информации позволяет получать и обрабатывать метод матриц [11, 16], точность которого может быть лучше 5 угловых минут. В сочетании с формулой косинусов это позволяет определять углы между рефlekсами фаз с такой точностью, какая может быть достигнута в процессе наблюдения, юстирования и фиксации микродифракционных изображений [15].

Руководствуясь правилами, изложенными в [13, 16], были вычислены компоненты матриц наиболее распространенных ориентационных соотношений между фазами в сталях.

Один из шести кристаллографически равноценных вариантов ОС А-К можно записать следующим образом:

$$\begin{matrix} (100)_\alpha \parallel (545)_\gamma; & (010)_\alpha \parallel (101)_\gamma; \\ & (001)_\alpha \parallel (2\bar{1}52)_\gamma \end{matrix}$$

Вводя коэффициенты, выравнивающие скалярные величины векторов, параллельных осевым направлениям [11, 16], получим матрицу ориентационного и размерного соответствия для ОС Арбузова-Курдюмова:

$$\mathbf{R}_{A-K} = \begin{pmatrix} 0.48773 & 0.39018 & 0.48773 \\ -0.49825 & 0 & 0.49825 \\ -0.18514 & 0.46284 & -0.18514 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Аналогичным путём были получены матрицы ОС Курдюмова-Закса:

$$\mathbf{R}_{K-3} = \begin{pmatrix} 0.59289 & 0.51953 & 0.13324 \\ -0.53300 & 0.59289 & 0.05989 \\ -0.05989 & -0.13324 & 0.78603 \end{pmatrix} \quad (4)$$

и ОС Исайчева:

$$\mathbf{R}_I = \begin{pmatrix} 0.03234 & -0.43098 & 0.46331 \\ 0.32526 & -0.32526 & -0.32526 \\ 0.34646 & 0.19202 & 0.154444 \end{pmatrix} \quad (5)$$

и ОС Питча [24], которое характерно для перлита:

$$\mathbf{R}_P = \begin{pmatrix} 0.56618 & -0.21776 & 0.18292 \\ 0.14706 & 0.51895 & 0.18292 \\ -0.15524 & -0.07762 & 0.38811 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Используя матрицы, описывающие разные виды формоизменений различных решёток, можно строить механизмы (модели) последовательных стадий фазовых переходов. Такие методы матричного прогнозирования были применены в работах Омори [15], Шеклтона и Келли [17], Жанга и Келли [20] и были получены перспективные результаты.

В случае кристаллографических сопряжений при диффузионном распаде аустенита можно полагать [15], что зарождающиеся в контакте с аустенитной решёткой карбиды приобретают ориентацию в соответствии с ОС $\gamma \leftrightarrow \theta$ и впоследствии оказываются в окружении ферритных кристаллов, ориентация которых диктуется ОС $\gamma \leftrightarrow \alpha$. В итоге между карбидной и ферритной решётками формируется закономерное сопряжение, подчиняющееся известным связям. Результат может быть сопоставлен с экспериментальными данными или выводами других работ или со схемами, реализующимися при новых фазовых превращениях.

В нашем случае имеется матрица \mathbf{R}_{A-K} ориентационного и размерного соответствия, вычисленная с высокой точностью в согласии с предложенной М. Э. Арбузовым и Г. В. Курдюмовым для перехода от индексов плоскостей цементита к индексам плоскостей аустенита (3), и матрица (4) перехода от аустенита к ферриту \mathbf{R}_{K-3} по соотношению Курдюмова-Закса.

В итоге, соответствие между решётками цементита и феррита $\alpha \rightarrow \mathbf{R}_X \rightarrow \theta$ можно получить, умножая матрицу ОС А-К на матрицу ОС К-3:

$$[\theta \rightarrow \mathbf{R}_{AK} \rightarrow \gamma] \times [\gamma \rightarrow \mathbf{R}_{K3} \rightarrow \alpha] = [\alpha \rightarrow \mathbf{R}_X \rightarrow \theta]. \quad (7)$$

Здесь уместно отметить, что аустенитную решётку можно наложить на цементитную в соответствии с ОС АК только шестью вариантами (табл. 1):

Таблица 1

Варианты наложения аустенитной решетки на цементитную /
Variants of imposition of austenitic grate on a cementite one

Варианты	1	2	3	4	5	6
На ось [100]	(5-45)	(5-45)	(-455)	(455)	(554)	(5-54)
На ось [010]	(-101)	(101)	(011)	(011)	(110)	(110)
На ось [001]	(2-52)	(2-52)	(-522)	(-522)	(2-25)	(2-25)

При скалярном умножении шести вариантов матриц \mathbf{R}_{AK} , отвечающих таблице 1, на один вариант матрицы ОС К3, получены шесть вариантов матрицы \mathbf{R}_X , которые можно представить в виде трёх пар. В каждой паре элементы одинаковые, но отличаются перестановкой столбцов. Например,

$$\begin{pmatrix} 0.48773 & 0.39018 & 0.48773 \\ -0.49825 & 0 & 0.49825 \\ -0.18514 & 0.46284 & -0.18514 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.59289 & 0.51953 & 0.13324 \\ -0.53300 & 0.59289 & 0.05989 \\ -0.05989 & -0.13324 & 0.78603 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.05199 & 0.41974 & 0.47172 \\ -0.32525 & -0.32524 & 0.32525 \\ -0.34537 & 0.20290 & -0.14247 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.03234 & -0.43098 & 0.46331 \\ 0.32526 & -0.32526 & -0.32526 \\ 0.34646 & 0.19202 & 0.15444 \end{pmatrix}$$

Матрица ОСИ

Первые два варианта \mathbf{R}_X отличаются циклической перестановкой столбцов: первый стал вторым, второй – третьим, а третий – первым. Ниже этих двух вариантов \mathbf{R}_X приведена матрица ОСИ, сравнение с которой показывает, что эти варианты соответствуют матрицам ОС Исайчева с точностью до второго знака после запятой. Такие отклонения могут быть связаны с отклонениями ОС Курдюмова-Закса, что отмечается во многих работах [16-18].

Остальные две группы по два варианта значений \mathbf{R}_X в каждой отличаются друг от друга и от матрицы $\mathbf{R}_И$ несколькими первыми знаками после запятой.

Что касается второго ОС в перлитных структурах – ОС Питча, то оно было установлено [17] без тщательного стереографи-

ческого и матричного анализов и его несовершенство общеизвестно. В работе Жанга и Келли [14] даже были предложены три альтернативные варианта ОС Питча:

$$\text{OR-1} \quad (1|03)_{ц} \parallel (1|01)_{ф} \\ [010]_{ц} \ 8,5 \square \square \text{от } [131]_{ф} \\ [311]_{ц} \parallel \square [111]_{ф}$$

$$\text{OR-1} \quad (011)_{ц} \parallel (101)_{ф} \\ [311]_{ц} \parallel [111]_{ф} \\ [100]_{ц} \ 2,4 \square \square \text{от } [131]_{ф}$$

$$\text{OR-1} \quad (210)_{ц} \parallel (101)_{ф} \\ [001]_{ц} \parallel [131]_{ф} \\ [121]_{ц} \ 5,95 \square \square \text{от } [101]_{ф}$$

Сопоставительный анализ ОС Исайчева и ОС Питча показал, что их основное различие заключается в том, что ферритная решётка по ОСП повернута относительно ОСИ на 32° вокруг оси, перпендикулярной $(1|03)_{ц} \parallel (1|01)_{ф}$. В концепции решёток совпадающих узлов поворот на такой угол (точнее $31,59^\circ$) кубической решётки вокруг $[1|01]$ создаёт специальную ориентацию с обратной плотностью совпадающих узлов $\Sigma 27$. Это значит, что если внутри цементитного каркаса существуют ферритные зёрна перлитного феррита, то между ними формируются специальные низкоэнергетические границы $\Sigma 27$. Кроме того, это позволяет в одном зерне феррита зародиться несколькими ориентациями цементита, что часто наблюдается в доэвтектоидных сталях. На основе этих аргументов была предложена основная формула и построена стереопроекция соотношения феррит-цементит в перлите, являющегося более обоснованным и более строго описывающим физическую суть диффузионного распада аустенита. В новом варианте соотношение может быть записано следующим образом.

$$(100)_{ц} \parallel (16.7|5)_{ф} \quad (010)_{ц} \parallel (131)_{ф} \\ (001)_{ц} \parallel (2|1|5)_{ф} \quad (8)$$

Это соотношение отличается не только от альтернативных соотношений, предложенных в работе [14], но и от оригинального ОС Питча [17] поворотом на $2,8^\circ$ вокруг нормали к $(1|03)_{ц}$, при этом было принято, что $(1|03)_{ц} \parallel (1|01)_{ф}$.

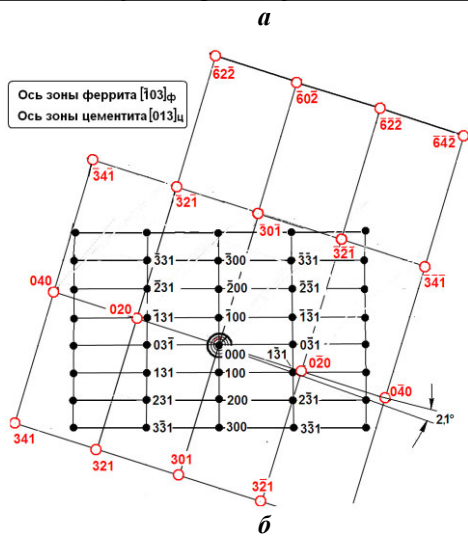
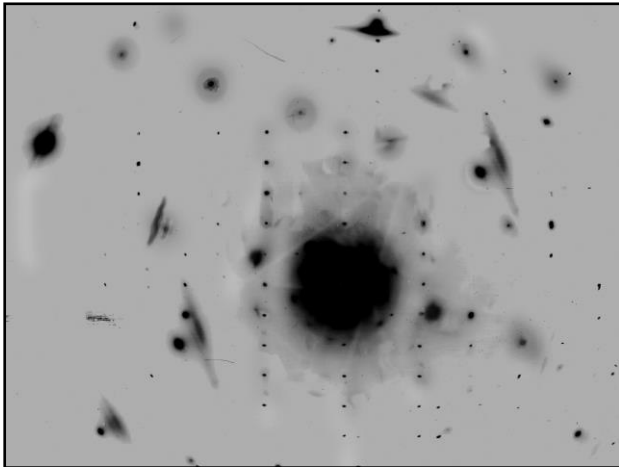
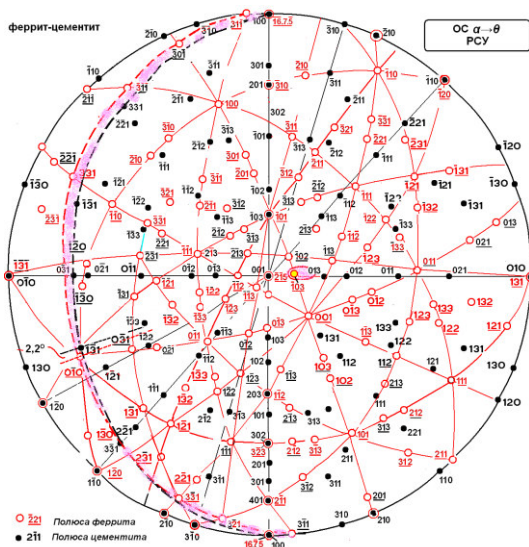


Рис. 2. Микродифракционная картина (а) и схема её индцирования (б) от колонии перлита в стали 20 после изотермической выдержки при 550 °С.

Взаимный разворот двух систем рефлексов с точностью до 0,2° согласуется с ОС, представленным матрицей (7) и стереопроекцией на рис. 1



Соответствующая матрица ОС феррит-цементит выглядит следующим образом:

$$R_{PN} = \begin{pmatrix} 0.59289 & 0.51953 & 0.13324 \\ -0.53300 & 0.59289 & 0.05989 \\ -0.05989 & -0.13324 & 0.78603 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Электроннограммы от колоний перлита во всех исследованных сталях подтверждают, что взаимное расположение двух систем рефлексов согласуется с ОС, представленным матрицей (9) и стереопроекцией на рисунке 1.

Для примера на рисунке 2а приведена микродифракционная картина от колонии перлита в микролегированной стали 20, а на рисунке 2б – её схема индцирования рефлексов феррита, принадлежащих зоне [1||03]ф и рефлексов цементита, расположенных в зоне [013]ц. Обе оси этих зон отмечены затемнённым овалом вблизи (001)ц на стереопроекции (рис. 1).

На схеме (рис. 2б) показан угол $2,1 \pm 0,2^\circ$, измеренный между направлениями рядов рефлексов (020)ф и (13|1)ц. Именно такой угол между этими полюсами плоскостей наблюдается и на стереопроекции на рисунке 1. В то же время на стереопроекции, построенной в соответствии с требованиями оригинальной работы Питча [17], этот же угол практически равен нулю. Это подтверждает, что экспериментальные дифракционные картины хорошо согласуются с закономерностями, описываемые матрицей (9), выражением (8) и стереопроекцией на рисунке 1.

Построение взаимного расположения узлов решёток феррита и цементита в плоскостях (100)ф и (31|1)ц показывает вид со стороны [100]ц (рис. 3), что узлы, близкие к совпадению образуют регулярный, периодический узор, указывающий на возможность образования низкоэнергетических межфазных границ в случае реализации соотношения феррит-цементит, представленного матрицей (9).

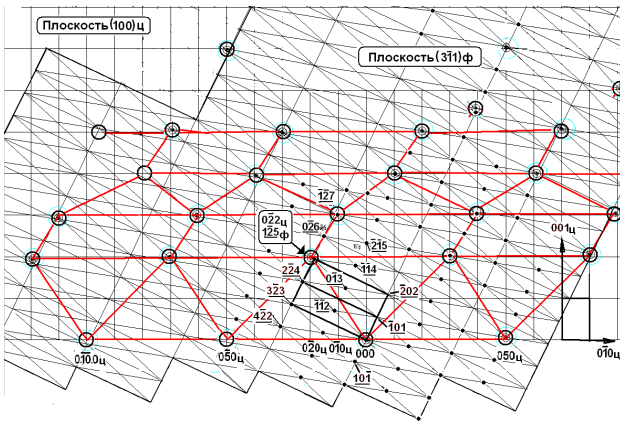


Рис. 3. Образование решётки близких к совпадению узлов при наложении плоскостей $(100)\alpha$ и $(311)\phi$ в соответствии с ОС (7).

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Выводы.

1. При структурных превращениях, в которых возникает кристаллографическая связь феррит-цементит, реализуется ориентационное соотношение Исайчева [5], а не Багаряцкого [3].

2. Установлено новое ориентационное соотношение между ферритом и цементитом в перлите.

3. Предложены новые, высокоточные (не хуже $0,1^\circ$) матрицы ориентационного и размерного соответствия для кристаллографических связей:

а) ориентационного соотношения аустенит-цементит по Арбузову-Курдюмову;

б) ориентационного соотношения аустенит-феррит по Курдюмову-Заксу;

в) ориентационного соотношения феррит-цементит по Исайчеву;

г) ориентационного соотношения феррит-цементит, предложенному в этой работе.

4. Выполнена рабочая двойная стереографическая проекция нового ОС феррит-цементит в перлите. Она пригодна для практического использования после увеличения её диаметра до 200 мм.

5. Показано, что при реализации между ферритом и цементитом предложенного ориентационного соотношения в перлите возникает решётка близких к совпадению узлов с образованием периодически повторяющегося узора.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Орлов А. Н. Границы зерен в металлах / А. Н. Орлов, В. Н. Перевезенцев, В. В. Рыбин. – Москва : Metallurgy, 1980. – 224 с.
2. Kurdumov G. V. Über das Mechanismus der Stahlhärtung / Kurdumov G. V., Sachs G. // Zeitschrift für Physik. – 1930. – Vol. 64, iss. 5/6. – P. 325–343.
3. Nishiyama Z. X-ray investigation of the mechanism of the transformation from face-centred cubic lattice to body-centred cubic / Nishiyama Z. // Science Reports of the Tohoku Imperial University. – 1934. – Vol. 23, № 4. – P. 637–642.
4. Greninger A. B. Crystallography of austenite decomposition / Greninger A. B., Troiano A. R. // Transactions of the AIME. – 1940. – Vol. 140. – P. 307–336.
5. Исайчев И. В. Ориентация цементита в отпущенной углеродистой стали / Исайчев И. В. // Журнал технической физики. – 1947. – Т. 17, вып. 7. – С. 835–838.
6. Арбузов М. Э. Ориентировка кристаллов цементита в отпущенной стали / Арбузов М. Э., Курдюмов Г. В. // Журнал технической физики. – 1941. – Т. 11, вып. 5. – С. 412–416.
7. Багаряцкий С. А. Вероятный механизм распада мартенсита / Багаряцкий С. А. // Доклады Академии наук СССР. – 1950. – Т. 73, № 6. – С. 1161–1164.
8. Andrews K. W. An electron diffraction study of pearlite / Andrews K. W., Dyson D. N. // Iron and Steel. – 1967. – Vol. 40, № 10. – P. 40–45, P. 93–98.
9. Ohmori Y. Crystallography of pearlite / Y. Ohmori, A. T. Davenport, R. W. K. Honeycombe // Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan. – 1972. – Vol. 12. – P. 128–137.
10. Ohmori Y. Crystallographic analysis of lower bainite transformation in Fe-0.7% C alloy // Materials transactions / Japan institute of metals. – 1989. – Vol. 30, № 7. – P. 487–497.
11. Утевский Л. М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении / Л. М. Утевский. – Москва : Metallurgy, 1973. – 584 с.

12. Shakleton D. N. Orientation relationships in pearlite and the form of the pearlite-austenite interface / D. N. Shakleton, P. M. Kelly // *Journal of the Iron and Steel Institute*. – 1969. – Vol. 207, № 12. – P. 1253–1254.
13. Ориентационные соотношения феррит-цементит / В. И. Большаков, Г. Д. Сухомлин, Д. В. Лаухин, А. В. Бекетов // *Theoretical foundations of civil engineering : Polish-Ukrainian Transactions (conference)*, Warsaw, September, 2011 / ed. by W. Szczesniak. – Warsaw, 2011. – Vol. 19. – P. 351–358.
14. Zhang M-X. Accurate orientation relationships between ferrite and cementite in pearlite / M-X. Zhang, P. M. Kelly // *Scripta materialia*. – 1997. – Vol. 47, iss. 11. – P. 749–755.
15. Курдюмов Г. В. Превращения в железе и стали / Г. В. Курдюмов, Л. М. Утевский, Р. И. Энтин. – Москва : Наука, 1977. – 238 с.
16. Grimmer H. Coincidence-Site lattices and complete pattern-shift lattices in cubic crystals / Grimmer H., Bollman W., Warrington D. T. // *Acta Crystallographica. Section A : Crystal Physics, Diffraction, Theoretical and General Crystallography*. – 1974. – Vol. 30, iss. 2. – P. 197–207.
17. Pitsch W. Der Orientierungszusammenhang zwischen Zementit und ferrit im perlit / W. Pitsch // *Acta metallurgica*. – 1962. – Vol. 10, iss. 9. – P. 897–900.

REFERENCES

1. Orlov A.N., Perevezentsev V.N. and Rybin V.V. *Granitsy zeren v metallakh* [Grain boundaries in metals]. Moskva: Metallurgiya, 1980, 224 p. (in Russian).
2. Kurdyumov G.V. and Sachs G. *Über das Mechanismus der Stahlhärtung. Zeitschrift für Physik*. 1930, vol. 64, iss. 5-6, pp. 325–343. (in German).
3. Nishiyama Z. *X-ray investigation of the mechanism of the transformation from face-centred cubic lattice to body-centred cubic. Science Reports of the Tohoku Imperial University*. 1934, vol. 23, no. 4, pp. 637–642.
4. Greninger A.B. and Troiano A.R. *Crystallography of austenite decomposition. Transactions of the AIME*. 1940, vol. 140, pp. 307–336.
5. Isajchev I.V. *Orientatsiya tsementita v otpushchennoj uglerodistoj stali* [Orientation of cementite in the tempered carbon steel]. *Zhurnal tehnicheckoj fiziki* [Technical physics journal]. 1947, vol. 17, iss. 7, pp. 835–838. (in Russian).
6. Arbutov M.Ye. and Kurdyumov G.V. *Orientirovka kristallov tsementita v otpushchennoj stali* [Orientation of cementite crystals in the tempered steel]. *Zhurnal tehnicheckoj fiziki* [Technical physics journal]. 1941, vol. 11, iss. 5, pp. 412–416. (in Russian).
7. Bagaryatskij S.A. *Veroyatnyj mekhanizm raspada martensita* [The probable mechanism of martensite decay]. *Doklady Akademii nauk SSSR* [Reports of Scientific Academy of USSR]. 1950, vol. 73, no. 6, pp. 1161–1164. (in Russian).
8. Andrews K.W. and Dyson D.N. *An electron diffraction study of pearlite. Iron and Steel*. 1967, vol. 40, no. 10, pp. 40–45, pp. 93–98.
9. Ohmori Y., Davenport A.T. and Honeycombe R.W.K. *Crystallography of pearlite. Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*. 1972, vol. 12, pp. 128–137.
10. Ohmori Y. *Crystallographic analysis of lower bainite transformation in Fe-0.7% C alloy. Materials transactions. Japan institute of metals*. 1989, vol. 30, no 7, pp. 487–497.
11. Utevskij L.M. *Difraktsionnaya elektronnaya mikroskopiya v metallovedenii* [The diffraction electron microscopy in metal science]. Moskva: Metallurgiya, 1973, 584 p. (in Russian).
12. Shakleton D.N. and Kelly P.M. *Orientation relationships in pearlite and the form of the pearlite-austenite interface. Journal of the Iron and Steel Institute*. 1969, vol. 207, no. 12, pp. 1253–1254.
13. Bolshakov V.I., Sukhomlin G.D., Laukhin D.V. and Beketov A.V. *Orientatsionnye sootnosheniya ferrit-tsementit* [The orientation relations of the ferrite-cementite]. *Theoretical foundations of civil engineering: Polish-Ukrainian Transactions (conference)*. Warsaw, 2011, vol. 19, pp. 351–358. (in Russian).
14. Zhang M-X. and Kelly P.M. *Accurate orientation relationships between ferrite and cementite in pearlite. Scripta materialia*. 1997, vol. 47, iss. 11, pp. 749–755.
15. Kurdyumov G.V., Utevskij L.M. and Yentin R.I. *Prevrashcheniya v zheleze i stali* [Transformations in the iron and steel]. Moskva: Nauka, 1977, 238 p. (in Russian).

16. Grimmer H., Bollman W. and Warrington D.T. *Coincidence-Site lattices and complete pattern-shift lattices in cubic crystals. Acta Crystallographica. Section A: Crystal Physics, Diffraction, Theoretical and General Crystallography.* 1974, vol. 30, iss. 2, pp. 197–207.
17. Pitsch W. *Der Orientierungszusammenhang zwischen Zementit und ferrit im perlit. Acta metallurgica.* 1962, vol. 10, iss. 9, pp. 897–900. (in German).

Рецензент: д-р. фіз-мат. н. Башев В. Ф.

Надійшла до редколегії: 24.03.2016 р. Прийнята до друку: 24.03.2016 р.

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^а,
кімната 607-В (відповідальний секретар), кімната 203а (редакційно-видавничий відділ).

☎ (0562) 756-34-98, (0562) 47-07-88

e-mail: visnik_psacea@ukr.net

Підписано до друку 04.05.2016 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 прим. 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^а,
комната 607-В (ответственный секретарь), комната 203а (редакционно-издательский отдел).

☎ (0562) 756-34-98, (0562) 47-07-88

e-mail: visnik_psacea@ukr.net

Подписано к печати 04.05.2016 г. Формат 60×84 1/8.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,95. Усл. кр.-отт. л. 3,95.

Уч.-изд. л. 6,89. Тираж 300 экз. Зак. 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 Department at PSACEA.

Editorial address:

✉ 24a Chernyshevskogo Street, Dnipropetrovs'k, 49600, Ukraine
room 607-V (Executive Secretary), room 203a (Editorial department).

☎ (0562) 756-34-98, (0562) 47-07-88

e-mail: visnik_psacea@ukr.net

Send to press on 04 May, 2016. 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